

Generación de preguntas sobre información no textual: una validación empírica del modelo obstáculo-meta en la comprensión de dispositivos experimentales de ciencias*

Questions Generated on Non-Textual Information: An Empirical Validation of the Obstacle-Goal Model Applied to the Comprehension of Scientific Experimental Devices

Recibido: noviembre 27 de 2012 | Revisado: enero 15 de 2013 | Aceptado: abril 22 de 2013

VICENTE SANJOSÉ LÓPEZ **

Universidad de Valencia, España

TARCILO TORRES VALOIS ***

Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

RESUMEN

Los mecanismos cognitivos de la generación de preguntas no son aún bien conocidos. Recientemente, se ha propuesto el modelo obstáculo-meta que asimila la comprensión a un proceso de resolución de un problema cognitivo, cuyos obstáculos hacia la meta pretendida dan lugar a las preguntas. Una predicción del modelo es la relación entre tipos de preguntas formuladas y tipos de representación mental que los sujetos manejan durante la comprensión de la información suministrada. Hasta ahora, esta predicción ha sido validada parcialmente y solo con información textual. En este trabajo se presenta un estudio empírico de validación más fiable de esta predicción, desarrollado en dos fases y que utiliza información no textual, como es el funcionamiento de dispositivos experimentales. Los resultados apoyan la predicción del modelo con suficiente potencia estadística.

Palabras clave autores

Generación de preguntas, modelo obstáculo-meta, dispositivos experimentales.

Palabras clave descriptores

Psicología básica, cognición, ciencia.

ABSTRACT

The cognitive mechanisms underlying question generation are not yet well understood. Recently, the Obstacle-Goal model has been proposed. This model assimilates comprehension to a problem-solving cognitive process: the obstacles in the way to the intended goal originate the questions asked. A direct prediction from this model is the relationship between the distribution of types of questions asked, and the kinds of mental representations subjects elaborate to understand the provided information. Up to now, this prediction has been partially validated, and only textual information has been used to this purpose. In the present paper an empirical two-phase study is developed to validate the above prediction in a more reliable way, using non-textual information: the operation of experimental devices. Results support the prediction of the model with enough statistical power.

Keywords authors

Question generation, obstacle-goal model, experimental devices.

Keywords plus

Basic psychology, cognition, science.

doi:10.11144/Javeriana.UPSY13-1.gpin

Para citar este artículo: Sanjosé, V. & Torres, T. (2014). Generación de preguntas sobre información no textual: una validación empírica del modelo obstáculo-meta en la comprensión de dispositivos experimentales de ciencias. *Universitas Psychologica*, 13(1), 357-368. doi:10.11144/Javeriana.UPSY13-1.gpin

* Artículo de investigación.

** Profesor Titular de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Línea de investigación: Bases psicológicas de la enseñanza de las ciencias. E-mail: vicente.sanjose@uv.es

*** Profesor Ocasional de tiempo completo Facultad de Educación. Línea de investigación formulación de preguntas por parte de los estudiantes. E-mail: tartova@alumni.uv.es

Introducción

En tareas de aprendizaje, generar una pregunta es una de las posibles acciones de regulación que un estudiante puede realizar para tratar de solucionar algún problema de comprensión (Nelson & Narens, 1990; Otero & Campanario, 1990). Los profesores están de acuerdo en que las preguntas de los estudiantes son potencialmente importantes para facilitar un aprendizaje significativo del contenido (Flammer, 1981; Watts, Gould & Alsop, 1997; Chin & Osborne, 2008), pero no hay un conocimiento profundo sobre los mecanismos cognitivos y metacognitivos que las generan. Por tanto, provocar las preguntas adecuadas en las aulas, sigue siendo una actividad de carácter ‘artesanal’ para los profesores. En la literatura especializada se encuentran dos posturas principales que tratan de explicar cómo se genera una pregunta: 1) las preguntas se generan debido a falta de conocimiento del sujeto y 2) las preguntas se generan debido al conocimiento previo del sujeto que crea expectativas y demandas (Miyake & Norman, 1979).

Recientemente, Otero (2009) ha propuesto un modelo sencillo que integra estas dos posturas principales, aparentemente contrarias: una pregunta se genera cuando un sujeto encuentra un obstáculo en el camino hacia su meta, que es la elaboración de

representaciones mentales particulares y adecuadas para la comprensión de la información suministrada. Esos obstáculos pueden ser provocados por desconocimiento (por ejemplo, una palabra desconocida) o, al contrario, por un conocimiento previo que no puede relacionarse coherentemente con la información suministrada (por ejemplo, cuando se violan las expectativas del sujeto).

En este modelo, la comprensión se concibe como la resolución de un problema: existe un estado inicial, consistente en una representación mental provisional de la información suministrada –de carácter semántico o ‘Base del Texto’ según Kintsch (1998)– y una meta que consiste en la representación mental final que el sujeto se propone elaborar (consciente o inconscientemente) –de carácter referencial o ‘Modelo de la Situación’, según Kintsch–, y que depende fuertemente de su conocimiento previo, tanto conceptual como estratégico. El proceso de comprensión es análogo a la navegación por el ‘espacio del problema’ (Newell & Simon, 1972): el sujeto puede encontrar obstáculos en alguno de los estados intermedios entre el inicial y el final (la ‘solución’) y debe tratar de superarlos usando las estrategias adecuadas. La sencilla estructura del modelo se muestra en la Figura 1.

Naturalmente, la detección de un obstáculo de comprensión es solo una de las tres etapas necesari-

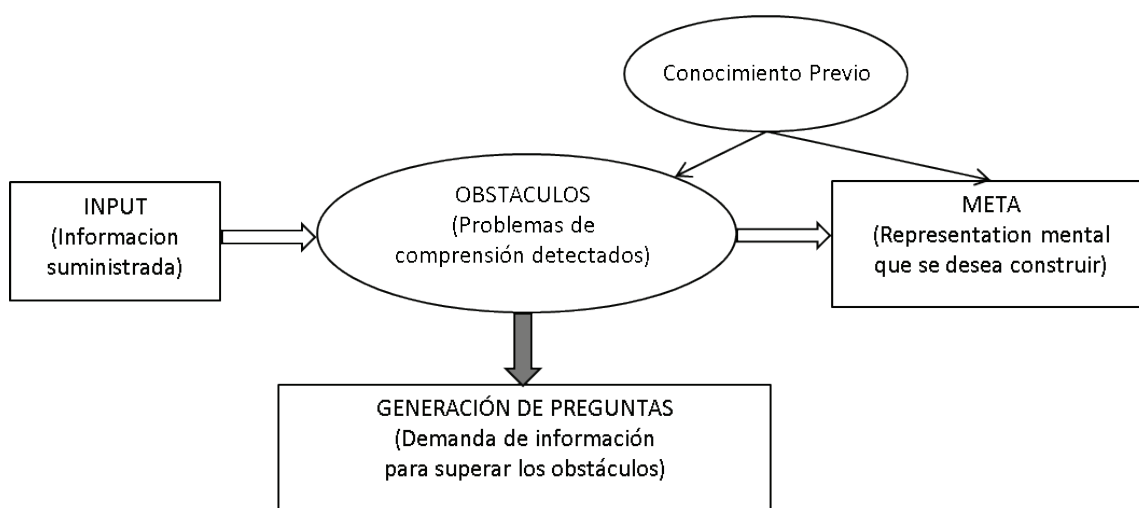


Figura 1. Representación esquemática del modelo obstáculo-meta de generación de preguntas de comprensión.

Fuente: Ishiwa, Sanjosé y Otero (2007).

rias para la generación de una pregunta. Además, el sujeto ha de decidir construir una frase que dé forma a su necesidad de información y editarla socialmente (Graesser & McMahan, 1993).

De la estructura mostrada en la Figura 1, se derivan algunas predicciones del modelo:

1. Las preguntas deberían asociarse a las representaciones mentales de los sujetos. Dado que se ha probado la existencia de distintos niveles de representación mental, deberían encontrarse preguntas procedentes de obstáculos de comprensión en todos esos niveles de representación. Otero y Graesser (2001) propusieron a estudiantes de secundaria leer textos científicos. Las abundantes preguntas obtenidas pudieron asociarse claramente con los niveles de representación mental propuestos por Kintsch y van Dijk (1978), van Dijk y Kintsch (1983) y Kintsch (1998): Superficial (léxico desconocido), Base del Texto (frases que no se comprendían) y Modelo de la Situación (imposibilidad para relacionar la situación con el conocimiento previo).
2. Para un mismo estado inicial, diferentes estados finales o metas (es decir, diferentes representaciones mentales elaboradas por lo sujetos) deben suponer diferentes 'trayectorias cognitivas por el espacio del problema' y, por tanto, diferentes obstáculos detectados y diferentes preguntas formuladas. Cuando la información tiene formato de un texto expositivo, esta predicción ha sido contrastada por Ishiwa, Sanjosé y Otero (2013). Estos autores utilizaron textos con dificultades introducidas adrede, como pseudopalabras (palabras inexistentes, inventadas por los investigadores) y obstáculos de comprensión de nivel referencial (como eslabones causales suprimidos en una cadena causal larga) introducidos a propósito para suscitar preguntas en sujetos universitarios. Todos los sujetos leyeron los mismos textos pero fueron asignados a dos condiciones experimentales distintas, correspondientes a dos tareas diferentes: a) comprender con el fin de explicar el contenido y b) comprender con el fin de resolver un problema aritmético sencillo. La distribución de preguntas fue significativamente distinta en cada condición experimental. Las

diferencias en las preguntas fueron analizadas utilizando una taxonomía para preguntas de comprensión (Torres et al., 2012), derivada de la clasificación de inferencias propuesta por Trabasso y Magliano (1996).

Sin embargo, dos aspectos merecen atención. En primer lugar, la validación de Ishiwa y colaboradores (2013) no fue completa, dado que, para poder probar esta relación predicha entre preguntas y representaciones mentales, es necesario disponer de evidencias simultáneas procedentes de ambos factores constitutivos del modelo, los obstáculos y las metas, y relacionarlos entre sí. En el trabajo citado, las diferencias en las representaciones mentales intentadas por los sujetos no fueron medidas directamente. En lugar de ello, se asumió que proponer diferentes tareas a los estudiantes (las diferentes condiciones experimentales a las que se asignaron los sujetos) induciría diferencias en las representaciones mentales. En segundo lugar, la validación ha sido realizada solo con información textual. El modelo obstáculo-meta puede ser contrastado también con información no textual, por ejemplo información procedente directamente de la realidad tangible.

Precisamente, el objetivo principal del presente trabajo fue validar empíricamente este modelo de generación de preguntas en una situación frecuente en el aprendizaje de las ciencias: la comprensión del funcionamiento de dispositivos experimentales, tal como se encuentran en los laboratorios escolares y en los museos interactivos de ciencias. En particular, en situaciones de laboratorio y durante el desarrollo de proyectos de ciencias, los estudiantes pueden manipular los dispositivos con cierta libertad. Esta interacción puede resultar en una 'navegación por el espacio del problema' diferente a la que resultaría de la lectura de un texto sobre el tema (Sanjosé, Torres & Soto, 2013). Las principales diferencias entre la situación de aprendizaje en el laboratorio y la lectura de textos proceden de al menos dos factores:

- a) La facilidad de construir el modelo de la situación, mediante experiencia sensorial directa con los objetos y los procesos que tienen lugar

a lo largo del tiempo, sin necesidad de decodificación. Ello libera recursos de la memoria de trabajo que pueden ser utilizados en otros procesos cognitivos y metacognitivos asociados con la comprensión (Chandler & Sweller, 1991; Höffler & Leutner, 2007).

- b) La posibilidad de manipular los dispositivos modificando sus condiciones (sus parámetros) y observando el resultado de inmediato, lo que estimula el pensamiento hipotético-deductivo (Torres, Milicic, Soto & Sanjosé, 2013).

En resumen, nuestra primera hipótesis es la siguiente:

Diferencias en las representaciones mentales elaboradas por los estudiantes para comprender los dispositivos experimentales, se asociarán a diferencias en las preguntas formuladas por ellos, en situación de laboratorio.

El contraste de esta hipótesis se realizó en dos fases complementarias. En la primera, se llevó a cabo un estudio en profundidad de tipo cualitativo con un grupo reducido de sujetos, con la finalidad de obtener evidencias de la representación mental intentada por ellos y, al mismo tiempo, de las preguntas formuladas con el fin de estudiar la relación entre ambas producciones, lo cual supone una contrastación directa de la hipótesis anterior. Es decir, nuestro procedimiento metodológico introdujo una mejora respecto de los experimentos de validación anteriores (Ishii et al., en prensa) al tomar medidas de las representaciones mentales que los sujetos trataron de elaborar, además de tomar medida de sus preguntas. De este modo, la relación preguntas/representación mental intentada, que forma la estructura medular del modelo obstáculo-meta, se contrastó de forma más fiable. Esta relación implicó un estudio correlacional complementario, de carácter cuantitativo.

Otro de los objetivos propuestos fue el de revisar y contrastar la hipótesis de trabajo utilizada en el estudio de validación mencionado, consistente en suponer que la asignación de diferentes tareas de comprensión a los sujetos estimularía en ellos diferentes representaciones mentales. Estas tareas

de comprensión asignadas actuarían como “metas externas” que, supuestamente inducirían “metas internas” en los sujetos (las representaciones mentales). Para cumplir este objetivo, se consideraron también dos tareas distintas asociadas a la comprensión de los dispositivos: a) saber explicar el funcionamiento de los dispositivos y b) saber diseñar los dispositivos.

La hipótesis correspondiente es:

Diferentes tareas de aprendizaje pueden inducir en los sujetos diferentes metas cognitivas, es decir, diferentes representaciones mentales.

Una vez obtenidas las evidencias pretendidas para contrastar ambas hipótesis, se hizo necesario aumentar la potencia estadística de la relación obstáculo-meta para información no textual. Para ello, se realizó una segunda fase de estudio, aumentando el tamaño de la muestra. Se consideraron las mismas dos condiciones experimentales de la primera fase y los mismos materiales.

Método

Participantes

En la primera fase de esta investigación, y debido a la entrevista individual en profundidad que se realizó, participaron 12 estudiantes universitarios colombianos de ambos sexos y mayores de edad (19-22 años). Todos ellos estudiaban alguna asignatura de física superior en sus grados de Física (3^{er} semestre) o de Ingeniería Mecánica (5^o semestre) en la Universidad de Antioquia. Seis fueron asignados a la condición Explicar y otros seis a la condición Diseñar. Estos 12 estudiantes manifestaron su voluntad de participar en esta parte de la investigación y aceptaron conceder el tiempo que fuera necesario.

En la segunda fase, de carácter cuantitativo, participó un total de 39 estudiantes universitarios de las mismas características que los participantes en la primera fase. Estos sujetos pertenecieron a cuatro grupos intactos en sus grados universitarios, pero en cada uno de ellos los estudiantes fueron asignados al azar a una de las dos condiciones experimentales consideradas (ver procedimiento). Todos los grupos fueron seleccionados según su disponibilidad y, por

tanto, una generalización de los resultados obtenidos no está garantizada.

Materiales

Dillon (1988) afirmó que el primer factor necesario para la generación de una pregunta era un estado de perplejidad en el sujeto. Los dispositivos experimentales utilizados suelen producir perplejidad en los estudiantes, lo cual estimula preguntas destinadas a su comprensión (Torres et al., 2012). Estos dispositivos son:

- 1) Un Doble Cono, que rueda hacia abajo por un plano inclinado formado por dos guías rectas, pero capaz de rodar hacia la parte superior del plano inclinado cuando las dos guías se disponen en forma de «V» con el vértice en la parte baja de la rampa.
- 2) El Diablillo Cartesiano, que se hunde hasta el fondo cuando se presiona la botella con agua en la que flota, pero regresa a la superficie cuando se deja de presionar.

Se trata de dos dispositivos experimentales bien conocidos y cuya explicación puede encontrarse fácilmente en la Internet¹.

Variables y medidas

La condición experimental, es decir, la tarea de comprensión asignada a cada participante, se consideró un factor independiente. Se contempló la posibilidad de que el conocimiento previo en física de los estudiantes de 3^{er} semestre de física fuera menor que el de los estudiantes de 5^o semestre de ingeniería, pero este factor no produjo ninguna diferencia en las medidas independientes realizadas. Probablemente, el conocimiento de todos los participantes incluía los principios y leyes implicados en el funcionamiento de los dispositivos utilizados,

que ya son estudiados en los dos primeros semestres de esos grados universitarios.

Las medidas dependientes fueron las cantidades y porcentajes de preguntas y de ideas de cada tipo expresadas por los participantes en su intento de comprender la información. Las preguntas, indicadores de obstáculos de comprensión, se clasificaron como en estudios anteriores (Ishiwa et al., 2013; Sanjosé, Torres & Soto, 2013):

- a.1) Asociativas (Q1), o preguntas dirigidas a conocer mejor las entidades presentes (objetos o eventos). Por ejemplo: “¿Cuál es el ángulo de inclinación (de la rampa en el doble cono)?, ¿Cuál debe ser el material de la botella (en el diablillo cartesiano)?”
- a.2) Explicativas (Q2), o preguntas dirigidas a explicar por qué los objetos y eventos son como son. Por ejemplo: “¿Por qué asciende el doble cono por la rampa?, ¿Por qué no se queda en el fondo el diablillo?”
- a.3) Predictivas (Q3), o dirigidas a tratar de avanzar lo que podría suceder si las condiciones fueran distintas de las presentes, usualmente de carácter hipotético-deductivo. Por ejemplo: “¿Qué pasaría si hubiera más cantidad de agua en la botella (en el diablillo cartesiano)?, ¿Qué pasaría si el ángulo de las guías se hiciera más grande?”

Las ideas de diversa tipología expresadas por los estudiantes durante su intento de comprensión de la información, son indicadores de las representaciones mentales intentadas por los participantes. En coherencia con la taxonomía de preguntas adoptada, se diferenciaron tres tipos principales de ideas con algunos subtipos:

- b.1) ideas asociativas o descriptivas
 - b.1.1) ideas que aluden a parámetros constitutivos, característicos de los dispositivos y/ a las particularidades de los montajes experimentales (materiales usados, formas, etc.)
 - b.2) ideas explicativas, de naturaleza causal
 - b.3) ideas predictivas, hipotético-deductivas

Además y solo por completitud, se atendió a la cantidad de ideas conteniendo información cientí-

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Cartesian_diver
http://www.youtube.com/watch?v=G3_yiwyezPY; <http://www.youtube.com/watch?v=eWOLX9W25hQ>
<http://plus.maths.org/content/defying-gravity-uphill-roller>

fica (al menos un concepto científico) y a las ideas erróneas desde el punto de vista de la ciencia.

Las ideas fueron extraídas directamente de los protocolos orales y escritos obtenidos en la primera fase del experimento. Se diferenció entre ideas manifestadas durante la interacción con el investigador y con el dispositivo, y las ideas manifestadas en el resumen final escrito.

Procedimiento

En todo el experimento se observó un cuidadoso protocolo ético. La participación de los estudiantes fue voluntaria y supuso un beneficio para cada uno de ellos en forma de aprendizaje. Las entrevistas realizadas en la segunda fase del experimento fueron grabadas en video con permiso de cada participante, pero el anonimato fue garantizado en todo momento. Además, al finalizar la participación de cada sujeto, se aseguró su comprensión del funcionamiento de los dispositivos utilizados, de modo que todos ellos aprendieron física.

El estudio cualitativo inicial se realizó de forma individual, siguiendo siempre el mismo protocolo. Cada uno de los sujetos participantes fue asignado al azar a una de las condiciones experimentales, es decir, a una de las dos tareas de comprensión: explicar/ diseñar los dispositivos. Los sujetos fueron llevados uno a uno a un laboratorio en donde se habían montado los dispositivos. Una vez en el laboratorio, se entregó una hoja con las instrucciones detalladas que fueron leídas en voz alta por uno de los investigadores y una hoja en blanco. Tras solucionar las dudas, el investigador presente hizo funcionar primero uno de los dispositivos. Tras ello, se pidió al estudiante que formulara por escrito las preguntas necesarias para poder explicar (/diseñar) ese dispositivo, en la hoja en blanco disponible. Luego se repitió el procedimiento con el otro dispositivo. El orden de presentación de los dispositivos fue contrabalanceado para cada sujeto y condición experimental.

Las preguntas de cada sujeto se recogieron y se dejó un tiempo de descanso. Luego de ese tiempo de descanso, se entregó al sujeto la hoja con sus preguntas escritas, y se le pidió que explicara la razón

por la cual había formulado cada una de las preguntas, pero delante de los dispositivos. De este modo se inició la entrevista o diálogo interactivo (estudiante, investigador y dispositivo) que persiguió tres objetivos: 1) estimular al estudiante a buscar las respuestas a sus preguntas de la primera sesión; 2) responder las preguntas cuando el estudiante persistió en su demanda de respuesta y no pudo encontrarla por sí mismo y 3) dar la oportunidad de generar nuevas preguntas y darles respuesta. Antes de contestar las preguntas formuladas, se invitó al estudiante a manipular con toda libertad los dispositivos para tratar de contestarlas por sí mismo.

No se impuso límite temporal a cada participante y finalizó cuando el alumno consideró que ya tenía toda la información necesaria. En ese momento, se le entregó una hoja en blanco y se le pidió que escribiera un resumen de lo sucedido, haciendo énfasis en sus pensamientos, en la información que había necesitado y que había logrado reunir con sus preguntas y su conocimiento previo.

Cuando cada estudiante en la condición experimental Explicar (/Diseñar) finalizó este resumen, se le formuló una última pregunta: “¿Qué información hubieras necesitado preguntar en el caso de que tener que Diseñar (/Explicar) el dispositivo?” El estudiante respondió por escrito en la misma hoja y, al finalizar, el investigador la recogió y se aseguró de que, fuera cual fuera su condición experimental, había comprendido realmente el funcionamiento de los dispositivos. En caso necesario, proporcionó una explicación científica sobre los aspectos poco o mal comprendidos. Esta fue la última actividad de la sesión tras la cual se agradeció encarecidamente al estudiante su participación. Esta segunda sesión tuvo una duración típica entre 50-60 minutos con cada participante.

En la Fase 2, de carácter cuantitativo, los sujetos fueron llevados al laboratorio en grupos de 4-6 personas (8 grupos en total). Cada estudiante eligió el momento de participar de modo que los investigadores no influyeron en la constitución de cada grupo. Cada grupo fue asignado a una condición experimental distinta: comprender y explicar, o diseñar los dispositivos. Una vez en el laboratorio, se siguió el mismo protocolo de la Fase 1 para recoger las preguntas de los

TABLA 1

Extractos de las entrevistas y de los resúmenes escritos, mostrando preguntas anteriores e ideas indicadoras de las representaciones mentales intentadas por los participantes durante el estudio cualitativo

Ideas unidad, indicadores de representación mental pretendida	Tipo de ideas y de preguntas
<p>Extractos de Entrevistas (I: Investigador; E: Estudiante)</p> <p>I: Usted preguntaba ¿cuáles son las características físicas de los objetos que ruedan sobre el plano? Cuándo se refiere a las características físicas, ¿se refería usted a la geometría, o a qué exactamente? E: Sí, la masa de cada objeto, la densidad, la forma, la característica geométrica. I: ¿Necesita Ud. conocer alguna otra característica? E: Pues (...) ¿qué ángulo tienen los conos?</p> <p>I: ¿Ud. tiene alguna pregunta sobre el funcionamiento del doble cono? E: (...) Pues la cosa es que cuando se colocan convergentes (las guías), el doble cono en realidad baja su centro de masa (...)</p> <p>I: Ud. ha preguntado: “¿Qué sucede cuando se varía el ángulo del doble cono?, ¿Eso cambia la velocidad del ascenso?” ¿Usted por qué hace estas preguntas? E: Yo quiero saber si es una mayor inclinación (mayor ángulo en cada cono), lo va a hacer subir con más velocidad.</p> <p>I: Ahora otra de sus preguntas es: ¿Cómo cambia el movimiento si el objeto es hueco o macizo? ¿Qué dice Ud. al respecto ahora? E: (...) Si fuera algo hueco no tendría inercia.</p> <p>I: Usted preguntaba, “¿sucede alguna cosa con el agua, o el agua tiene alguna clase de gas?” ¿Cuál es la razón por la cual pregunta esto? E: (...) Para que la tapita flote, necesita algo que le ayude a flotar (por tanto) guarda aire en el momento que entró en el agua.</p> <p>I: Otra de sus preguntas es “¿La botella debe de estar necesariamente tapada?”. Quizás podría intentar contestar a esto Ud. mismo... (El estudiante manipula el diablillo cartesiano) E: (...) Cuando aprieto la botella (tapada), además de la presión atmosférica está también una sobre-presión. I: (...) Entonces, el efecto de apretar, ¿cuál es? E: (...) Cuando la aprieto (la botella), disminuye el volumen de la burbuja de aire dentro de la tapita, y si la suelto, queda con el mismo volumen que había antes.</p>	<p>Ideas manifestadas. En cursiva, preguntas realizadas antes de las entrevistas.</p> <p>Pregunta asociativa, Q1</p> <p>Descriptiva Descrip-Parámetros (Pregunta Q1)</p> <p>Explicativa (aplica una ley física)</p> <p>Pregunta predictiva, Q3</p> <p>Predictiva, hipotético-deductiva</p> <p>Pregunta Q3</p> <p>Predictiva, hipotético-deductiva</p> <p>Pregunta asociativa, Q1</p> <p>Explicativa, causal</p> <p>Pregunta equivale a “¿qué pasaría si no lo estuviera?”, Q3</p> <p>Descriptiva</p> <p>Explicativa, causal</p>
<p>Extractos de dos Resúmenes escritos</p> <p>El doble cono está formado por 2 bases... La base superior tiene una medida de longitud mayor a 27.5 cm y su altura es de 7.5 cm... A lo largo de su longitud debe haber 4 perforaciones, ... dos que disten 13 cm y ... otras dos que disten 27.5 cm (...)</p> <p>El funcionamiento en el ascenso del cono tiene que ver con los conceptos de energía. Aquí hay una energía potencial que es la que produce el movimiento. El doble cono intenta que la energía potencial se haga cero. En la ecuación: $E_p = mgh$, solo puede hacerse cero la altura. Por tanto la altura ha de disminuir. Esto explica que el cono realmente descienda y no ascienda como aparentemente se ve. Cuando el ángulo de abertura de las guías es cero (cuando son paralelas) no ocurre el aparente ascenso, ... pero al abrirlas, se ayuda al cono a que baje su centro de gravedad, gracias a su geometría.</p>	<p>Descriptiva Descrip-parámetros Descrip-parámetros Descriptiva Descrip-parámetros Descrip-parámetros</p> <p>Explicativa, causal</p> <p>Explicativa, causal Descriptiva Descriptiva Explicativa Explicativa, causal</p> <p>Descriptiva</p> <p>Descriptiva Explicativa, causal</p>

Fuente: elaboración propia.

estudiantes. El orden de presentación de los dispositivos fue contrabalanceado en cada grupo y condición experimental. La sesión completa tuvo una duración entre 25 y 35 minutos por cada grupo.

Resultados y discusión

Fase 1: análisis cualitativo y cuantitativo de preguntas e ideas de los estudiantes y contrastación de las hipótesis

Las preguntas de cada estudiante se categorizaron y contabilizaron, para poder ser relacionadas con las ideas expresadas por los sujetos en su interacción con los dispositivos y con el investigador-entrevistador. El análisis de los protocolos grabados de las entrevistas en profundidad y de los resúmenes escritos proporcionó un conjunto de ideas-unidad, indicadoras del tipo de representación mental que cada sujeto pretendió construir durante su comprensión de los dispositivos. La Tabla 1 muestra extractos de los protocolos orales grabados y de los resúmenes escritos, con ejemplos de las ideas clasificadas (y de preguntas formuladas con anterioridad).

Se analizaron las ideas expresadas por los participantes procedentes de las dos fuentes: a) durante la entrevista, en interacción con el investigador y el dispositivo y b) en el resumen escrito elaborado al final de la sesión. Dos investigadores clasificaron independientemente las ideas de los sujetos en los diferentes tipos. Su acuerdo se consideró suficientemente alto ($kappa$ de Cohen = 0.78).

En cada condición experimental, la cantidad de cada tipo de pregunta formulada y la cantidad de cada tipo de idea expresada por los participantes, se recogen en la Tabla 2.

Los valores muestran diferencias claras: los sujetos en la condición experimental Explicar realizaron muchas más preguntas explicativas y predictivas que los sujetos en la condición Diseñar, quienes, en cambio, formularon más preguntas asociativas. En cuanto a las ideas manifestadas durante el proceso de comprensión, los estudiantes en la condición Explicar expresaron menor número de ideas descriptivas que los de la condición Diseñar, en particular, asociadas con parámetros característicos de los dispositivos, pero a cambio expresaron muchas más ideas explicativas.

Un modo de visualizar mejor el tipo de dificultades que preferentemente encuentran los sujetos y el tipo de ideas que preferentemente generan durante su proceso de comprensión, es atender a las proporciones de preguntas e ideas, en lugar de considerar las cantidades de las mismas. Dichas proporciones se derivan fácilmente de la Tabla 2.

A pesar de la pequeña muestra y de la evidente falta de potencia estadística, todas esas proporciones siguieron distribuciones no significativamente distintas de las normales (Kolmogorov-Smirnov: $p > 0.78$ en todos los casos). El contraste de la primera hipótesis implica asociar preguntas e ideas. Para ello, se realizó un análisis de correlación con la prudencia necesaria al tratarse de una muestra muy pequeña y con finalidad de visualizar las tendencias.

La Tabla 3 recoge los valores de la correlación de Pearson entre las proporciones de preguntas y las de ideas de distinto tipo.

La significación de las correlaciones de la Tabla 3 se ha de juzgar teniendo en cuenta el pequeño tamaño de la muestra en esta fase del estudio. Se puede atender, por tanto, a su signo y a su valor

TABLA 2

Número de preguntas formuladas e ideas manifestadas por los estudiantes durante el proceso de construcción de representaciones mentales

Condición Experimental	Preguntas			Descrip.	Ideas		
	Q1	Q2	Q3		Parám.	Explic.	Predic.
Explicar	14	34	24	61	17	108	21
Diseñar	32	7	5	127	70	31	13
Total	46	41	29	188	87	139	34

Fuente: elaboración propia.

TABLA 3

Correlaciones de Pearson entre proporciones de tipos de preguntas generadas y tipos de ideas expresadas por los participantes

Correlación de Pearson (N=12)	Prop.Q1	Prop.Q2	Prop.Q3
Prop. Ideas Descriptivas	r=0.612 ; <i>p</i> = 0.034	<i>r</i> = -0.419; <i>p</i> = 0.176	<i>r</i> = -0.546; <i>p</i> = 0.066
Incluyendo Parámetros	r= 0.547 , <i>p</i> = 0.066	<i>r</i> = -0.53, <i>p</i> = 0.077	<i>r</i> = -0.267, <i>p</i> = 0.402
Prop. Ideas Explicativas	<i>r</i> = -0.707; <i>p</i> = 0.01	r= 0.543 ; <i>p</i> = 0.068	r= 0.546 ; <i>p</i> = 0.066

Fuente: elaboración propia.

absoluto en relación con los valores que son característicos en las investigaciones psicoeducativas. Los signos obtenidos, junto con los valores absolutos satisfactorios, indican que las preguntas asociativas están vinculadas con la expresión de ideas de carácter descriptivo (y, dentro de ellas, a las ideas que aluden a parámetros constitutivos de los dispositivos), pero no a las ideas de carácter causal, mientras que las preguntas causales están asociadas con la expresión de ideas de carácter explicativo pero no a las de carácter descriptivo (signos negativos). Este resultado apoya la hipótesis constitutiva del modelo obstáculo-meta de un modo fiable, aunque la falta de potencia estadística aconsejó un estudio complementario, de carácter cuantitativo (ver más adelante, Fase 2: contrastación de la segunda hipótesis con incremento de la potencia estadística).

Es también interesante estudiar la relación entre las proporciones de ideas de diferente tipo. Las correlaciones de Pearson entre las proporciones de ideas descriptivas y explicativas no solo fueron negativas (lo que es esperable tratándose de proporciones que han de sumar la unidad), sino de un valor absoluto alto ($r(12) = -0.724$; $p = 0.008$) a pesar del pequeño tamaño de la muestra. Este valor alto indica que los participantes generaron preferentemente o bien ideas descriptivas, centradas en el diseño funcional de los dispositivos, o bien ideas causales para explicar su funcionamiento en términos de leyes científicas o de conocimiento ordinario del mundo, pero muy pocos produjeron proporciones apreciables de ambos tipos de ideas a la vez.

De forma similar, las correlaciones entre las proporciones de preguntas de cada tipo alcanzaron valores absolutos altos ($r_{Q1,Q2}(12) = -0.849$; $p < 0.001$; $r_{Q1,Q3}(12) = -0.659$; $p = 0.02$). Es decir, las preguntas formuladas por cada sujeto fueron, bien

de tipo descriptivo (Q1) bien de tipo causal (antece-dente, Q2, o consecuente, Q3). La correlación entre las proporciones de Q2 y Q3 fue positiva pero no importante ($r_{Q2,Q3}(12) = 0.161$; $p = 0.616$) ya que algunos sujetos formularon proporciones similares de preguntas explicativas y predictivas.

En resumen, los datos anteriores indican que los sujetos encontraron preferentemente o bien obstáculos de comprensión a la hora de conocer mejor las características de los dispositivos (y formularon preguntas asociativas, Q1), o bien obstáculos de comprensión de las relaciones causales que justifican el por qué los dispositivos funcionan tal como lo hacen. Al mismo tiempo, los sujetos participantes expresaron ya sea ideas descriptivas durante el proceso de comprensión o ideas causales. Por último, las correlaciones de la Tabla 3 muestran que las ideas descriptivas se asociaron a preguntas asociativas pero no a preguntas explicativas o predictivas, mientras las ideas causales se asociaron a preguntas explicativas o predictivas, pero no a preguntas descriptivas.

El contraste de la segunda hipótesis formulada implica considerar las ideas expresadas en cada condición experimental. La Tabla 2 sugiere que cada condición experimental estimuló un tipo de representación mental distinta. Para probar esto se estudiaron las distribuciones de ideas y de preguntas en cada condición experimental, a través de los ANOVA. Las cantidades de ideas y de preguntas de cada tipo mostraron distribuciones normales (K-S; $p > 0.35$ en todos los casos). Respecto de las preguntas, un análisis 3X2 de medidas repetidas mostró que ambas condiciones experimentales produjeron diferente distribución de tipos de pregunta ($F(2,20) = 27.625$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.73$; $p = 1$) y la potencia estadística fue máxima a pesar del pequeño tamaño

de la muestra. En lo que a las ideas concierne, sendos ANOVA simples para cada tipo de idea indicó que hubo significativamente más ideas causales en la condición explicar ($F(1,10) = 31.107; p < 0.001; \eta^2 = 0.76; p = 1$) y significativamente más ideas descriptivas en la condición diseñar ($F(1,10) = 11.798; p = 0.006; \eta^2 = 0.54; p = 0.87$) y en ambos casos se obtuvo alta potencia estadística. La cantidad de ideas predictivas expresadas fue pequeño en ambas condiciones experimentales, aunque el número de preguntas predictivas fue apreciable en la condición Explicar. La razón parece ser que los sujetos tuvieron la posibilidad (estimulada por el investigador presente) de modificar el montaje y observar el resultado de inmediato, contestando así sus preguntas hipotético-deductivas, tanto las formuladas anteriormente, como las que les surgieron durante la entrevista.

Como análisis complementario, el 39.2 % del total de ideas expresadas contuvieron términos científicos explícitamente, sin diferencias significativas entre condiciones ($t(10) = 1.367; p = 0.2$). Es un porcentaje esperable en sujetos con alto conocimiento previo. El número de preguntas conteniendo errores científicos fue muy pequeño (0.7 ideas con errores científicos por estudiante en promedio), aunque su existencia es preocupante.

Fase 2: contrastación de la segunda hipótesis con incremento de la potencia estadística

De acuerdo con los resultados obtenidos en la primera fase de esta investigación, en esta segunda fase

se asumió que cada condición experimental (cada una de las tareas consideradas, Explicar/Diseñar) induciría diferentes representaciones mentales en los participantes. Los 39 participantes de esta fase realizaron un total de 410 preguntas, lo que corresponde a 10.5 preguntas/estudiante. La Tabla 4 muestra la distribución de esas preguntas, en los diferentes tipos considerados, en cada condición experimental. Dos investigadores clasificaron independientemente las preguntas de los estudiantes según la taxonomía adoptada. El grado de acuerdo fue alto (κ de Cohen = 0.89).

Las variables se distribuyeron de acuerdo con una distribución no significativamente distinta de una normal (K-S: $p > 0.18$ en todos los casos). Para analizar la distribución de preguntas en tipos Q1, Q2 y Q3, se utilizó un ANOVA de medidas repetidas 3 X 2, con dos factores: tipo de pregunta (intra-sujetos) y condición experimental (entre-sujetos). Este análisis probó que esta distribución fue significativamente distinta en cada una de las condiciones con un tamaño del efecto moderado-alto y una potencia suficiente ($F(2,74) = 5.924; p = 0.004; \eta^2 = 0.14; p = 0.87$). Sendos ANOVA simples mostraron que la condición Explicar produjo significativamente más preguntas causales, Q2 ($F(1,37) = 9.991; p = 0.003; \eta^2 = 0.21; p = 0.87$) y la condición Diseñar estimuló significativamente más preguntas asociativas, Q1, ($F(1,37) = 5.931; p = 0.02; \eta^2 = 0.14; p = 0.66$), aunque la aceptación de la hipótesis alternativa en este caso está algo falta de potencia. Ambas condiciones proporcionaron un número similar de preguntas predictivas, Q3 ($F < 1$).

TABLA 4

Fase 2. Distribución de las preguntas de los estudiantes en cada condición experimental. Se muestran las medias y las desviaciones estándar (entre paréntesis)

Cond. Exp.	Q1	Q2	Q3	Qtot
Explicar	2.2 (1.9)	5.1 (2.2)	3 (3)	10.4 (4.3)
Diseñar	3.8 (2.2)	2.9 (2.3)	3.7 (3.1)	10.7 (3.7)
Total	2.9 (2.2)	4.1 (2.5)	3.3 (3)	10.5 (4)

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El modelo obstáculo-meta, sugerido por Otero (2009), propone que el proceso de comprensión de la información implica el tránsito entre dos estados cognitivos: a) la representación inicial de la información suministrada (estado inicial); b) la representación mental final que a cada sujeto le resulte satisfactoria para enlazar la información con su conocimiento previo, preservando la coherencia. En la trayectoria desde el estado inicial hasta el final, la detección de obstáculos generará las preguntas.

Una consecuencia inmediata de este planteamiento es que, para un mismo estado inicial, diferentes estados finales (diferentes representaciones mentales intentadas) deben suponer diferentes caminos cognitivos y, por tanto, diferentes obstáculos detectados y diferentes preguntas formuladas. Para poder probar esta relación, es necesario disponer de evidencias simultáneas de obstáculos (preguntas) y de representaciones mentales intentadas por los sujetos.

En este trabajo se ha centrado en la validación de esta hipótesis constitutiva del modelo obstáculo-meta para el caso particular de información no textual, como es el caso del funcionamiento de dispositivos experimentales científicos. Esta validación incluyó una medida simultánea de preguntas (obstáculos de comprensión) y de representaciones mentales intentadas por los sujetos (metas). La primera fase del estudio mostró una relación clara entre tipo de preguntas formuladas y tipos de ideas expresadas durante las entrevistas en profundidad y los resúmenes escritos. Las ideas fueron generadas en interacción con los dispositivos y en tareas de comprensión de los dispositivos. Por tanto, deben asociarse a las representaciones mentales intentadas por los sujetos en esa situación.

Diferentes distribuciones de preguntas se asociaron con diferentes distribuciones de ideas expresadas de un modo específico: preguntas causales se asociaron significativamente con ideas causales, explicativas, mientras que preguntas asociativas, incluyendo en muchos casos parámetros constitutivos de los dispositivos, se asociaron claramente con ideas descriptivas. Esto supone un apoyo empírico al modelo obstáculo-meta.

Al mismo tiempo, las dos condiciones experimentales, es decir, las dos tareas asignadas a los sujetos en la investigación, se asociaron fuertemente con diferencias en las representaciones mentales manejadas por los estudiantes para intentar comprender los dispositivos. Esto apoya *a posteriori* los estudios anteriores de validación del modelo (Ishiwa et al., en prensa) en los que no se tomaron medidas relacionadas con las representaciones mentales de los sujetos, pero se consideraron diferentes condiciones experimentales.

En una segunda fase del estudio, se amplió la muestra de participantes para lograr mejor potencia estadística en la relación entre condición experimental, representación mental y preguntas formuladas. Tras el estudio primero en Fase 1, se asumió que cada condición experimental promueve diferentes representaciones mentales en los participantes. Las diferencias entre distribución de preguntas en cada condición experimental obtuvieron significación con buenos tamaños del efecto y potencias estadísticas, lo que apoya con mayor grado de validez la predicción fundamental del modelo obstáculo-meta, en casos en los que la información suministrada es de carácter no textual.

El modelo obstáculo-meta resulta pues un sencillo modelo de fundamentación cognitiva que concibe la comprensión como un proceso similar a la resolución de un problema: construir una representación mental coherente a partir del conocimiento previo y de la información suministrada. Dada la abundante y diversa producción en investigación sobre resolución de problemas, el modelo podría ser aún desarrollado para explicar y predecir de un modo cada vez más preciso, la generación de preguntas en los estudiantes.

Referencias

- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332.
- Chin, C. & Osborne, J. (2008). Students' questions: A potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1-39.

- Dillon, J. T. (1988). *Questioning and teaching: A manual of practice*. London: Croom Helm.
- Flammer, A. (1981). Towards a theory of question asking. *Psychological Research*, 43(4), 407-420.
- Graesser, A. C. & McMahen, C. L. (1993). Anomalous information triggers questions when adults solve problems and comprehend stories. *Journal of Educational Psychology*, 85(1), 136-151.
- Höffler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722-738.
- Ishiwa, K., Sanjosé, V. & Otero, J. (2007, agosto). Influence of task and goal orientation on the generation of information seeking questions. *Proceedings of the 12th Biennial Conference for Research on Learning and Instruction*. Budapest, Hungary: European Association of Research in Learning and Instruction. Disponible en <http://www.earli.org/resources/Abstracts%20Budapest%202007.pdf>
- Ishiwa, K., Sanjosé, V. & Otero, J. (2013). Questioning and reading goals: Information-seeking questions asked on scientific texts read under different task conditions. *British Journal of Educational Psychology*, 83(3), 502-520. doi: 10.1111/j.2044-8279.2012.02079.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kintsch, W. & van Dijk, T. A. (1978). Toward a model of discourse comprehension and production. *Psychological Review*, 85(5), 363-394.
- Miyake, N. & Norman, D. A. (1979). To ask a question one must know enough to know what is not known. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18(3), 357-364.
- Nelson, T. O. & Narens, L. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. En G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 125-173). New York: Academic Press.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Otero, J. (2009). Question generation and anomaly detection in texts. En D. Hacker, J. Dunlosky & A. Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education* (pp. 47-59). New York: Routledge.
- Otero, J. & Campanario, J. M. (1990). Comprehension evaluation and regulation in learning from science texts. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 447-460.
- Otero, J. & Graesser, A. C. (2001). PREG: Elements of a model of question asking. *Cognition and Instruction*, 19(2), 143-175.
- Sanjosé, V., Torres, T. & Soto (2013). Effects of Scientific Information Format on the Comprehension Self-Monitoring Processes: Question Generation *Revista de Psicodidáctica*, 18(2), 291-309.
- Torres, T., Duque, J. K., Ishiwa, K., Sánchez, G., Solaz-Portolés, J. J. & Sanjosé, V. (2012). Preguntas de los estudiantes de educación secundaria ante dispositivos experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(1), 49-60.
- Torres, T., Milicic, B., Soto, C. & Sanjosé, V. (2013). Generating students' information seeking questions in the scholar lab: what benefits can we expect from inquiry teaching approaches? *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 9(3), 259-272.
- Trabasso, T. & Magliano, J. P. (1996). Conscious understanding during comprehension. *Discourse Processes*, 21(3), 255-287. doi:10.1080/01638539609544959
- Van Dijk, T. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- Watts, M., Gould, G. & Alsop, S. (1997). Questions of understanding: Categorizing pupils, questions in science. *School Science Review*, 79(286), 57-63.