

## **Preguntas de los estudiantes sobre dispositivos científicos. Students' questions about scientific devices**

**Vicente Sanjosé**

**Tarcilo Torres**

Departamento de didáctica de las ciencias experimentales  
Universidad de Valencia,

---

### **Fundamentación teórica**

¿Cuáles son, en realidad, las ventajas de los dispositivos científicos usados en laboratorios escolares y en museos de ciencia interactivos, para el aprendizaje de las ciencias en los estudiantes? Un aprendizaje eficaz de las ciencias requiere comprensión. La generación de preguntas para obtener información es uno de los procesos que indican la intención de los estudiantes de comprender una determinada información. Además, la construcción de nuevo conocimiento científico comienza con una buena pregunta. Por tanto, estimular la generación de preguntas destinadas a obtener información (ISQ) podría ser un elemento que mejorara el aprendizaje profundo de las ciencias escolares.

La comprensión consiste en la construcción de representaciones mentales por parte del sujeto. Hay varias teorías sobre comprensión del discurso. Nosotros adoptaremos la de Kintsch (1998), van Dijk y Kintsch (1983), Kintsch y Greeno y (1985) y Greeno (1989). Estas teorías definen varios niveles de representación mental posibles. El modelo de la situación (MS) es la representación de mayor nivel de elaboración mental propuesta por van Dijk y Kintsch (1983). Para construirla el sujeto debe ir más allá de la información suministrada, y debe relacionarla con su conocimiento previo. Dos procesos cognitivos aparecen entonces: 1) Activación del conocimiento previo apropiado; 2) Realización de inferencias para crear nuevo conocimiento (no incluido en el discurso) uniendo 2 ó más segmentos de información diferente del discurso, o segmentos del discurso ofrecido y segmentos del conocimiento previo. Con ello se amplía el conocimiento previo, se crea la posibilidad de aplicar a nuevos contextos lo aprendido, se delimita el campo de validez o de aplicación, etc.

El MS contiene objetos y eventos del mundo ordinario (nivel ontológico concreto). Para comprender las ciencias se requiere la construcción de representaciones mentales en el nivel ontológico abstracto, más allá del modelo de la situación. Kintsch y Greeno postularon el modelo del problema analizando la comprensión de problemas aritméticos y algebraicos (Nathan, Kintsch y Young, 1992). Greeno amplió el espectro de las representaciones mentales más allá del modelo de la situación cuando se trata de comprender la ciencia, y postuló la existencia de 4 niveles de representación mental que se ponen en juego cuando se intenta comprender la ciencia: nivel concreto (=modelo de la situación); modelos esquemáticos de la realidad; nivel abstracto (científico); nivel simbólico. Nosotros conservaremos las representaciones de Kintsch (Superficial, Base del texto y MS) para el procesamiento del lenguaje ordinario y consideraremos el nivel

simbólico de Greeno para el lenguaje matemático ( lgebra, aritmética, geometría, funciones, etc.) que es el otro código simbólico que la ciencia usa. Un experto se caracteriza por ser capaz de construir estas 4 representaciones ante la realidad, y además, transitar entre ellas conectándolas de modo coherente.

La construcción de estas representaciones de alto nivel también implica la realización de inferencias por parte del aprendiz. El modelo de inferencias que vamos a adoptar es el propuesto por Trabasso y Magliano (1996) para narraciones: asociaciones (intentos de conocer mejor las entidades narradas), explicaciones (justificaciones, causalidad) y predicciones (adelantar el futuro). Como hipótesis de trabajo, asumiremos esta misma clasificación para el caso en que la información sea de tipo expositivo, o tenga un formato visual.

#### Conciencia de Incomprensión y Génesis de Preguntas

Una forma de intentar mejorar la comprensión de las personas ante la ciencia es estudiar el origen y las causas de su incomprensión. En nuestro trabajo estamos interesados en los factores cognitivos y meta-cognitivos que intervienen en la incomprensión. La incomprensión es un fenómeno interno del sujeto y no puede ser directamente estudiado. Por tanto necesitamos una consecuencia observable. Una de ellas son las preguntas que el sujeto formula con el fin de obtener información (Information Seeking Questions, ISQ's).

La hipótesis Obstáculo–Meta (Otero, 2009) predice que una ISQ surge de la detección del obstáculo en la comprensión que representa el intento fallido de realizar una inferencia cuando el sujeto tiene determinada meta cognitiva. Asumiendo esta hipótesis nuestro modelo de generación de preguntas se basa en lo siguiente: 1) La existencia de una meta (consciente o inconsciente) que cada persona tiene al procesar el contenido en cada circunstancia o contexto. La representación mental que se intenta construir, depende de esa meta; 2) La transición hacia esa meta puede suponer el tropiezo con obstáculos que hay que superar. Para superarlos el sujeto formula una pregunta. Los obstáculos más importantes en la comprensión de las ciencias son inferencias fallidas.

Los supuestos (1) y (2) del modelo tienen dos implicaciones inmediatas: a) diferentes metas deben suponer diferentes preguntas sobre la misma información en los sujetos; b) las preguntas formuladas deben estar claramente asociadas al tipo de inferencia intentada. Si se toma la taxonomía de inferencias de Trabasso y Magliano (1996), el modelo predice preguntas de 3 tipos: preguntas destinadas a conocer mejor las entidades presentes (T1) formuladas como “ Qu ... Cómo..., Cuándo...?”; preguntas destinadas a justificar las entidades en términos causales (T2) formuladas frecuentemente como “ Por qué..., Por qué no...?  C mo es que sucede...?; preguntas destinadas a anticipar sucesos en el futuro o eventos que podrían tener lugar si las condiciones fueran diferentes a las explicitadas en la información suministrada (T3), formuladas como “ Qu  pasaría si...?  Qu  va a suceder...?”. Ishiwa, Macías, Maturano y Otero (2009) han logrado clasificar un amplio número y variedad de preguntas formuladas por alumnos sobre contenido científico (expositivo; no narrativo) en estas mismas 3 categorías.

#### Objetivos de investigación

Nuestro objetivo es estudiar si la observación y posible manipulación de dispositivos experimentales reales, bien en los laboratorios, bien en los museos interactivos de ciencia, representa una ventaja sobre los textos a la hora de desarrollar la capacidad de plantearse y formular preguntas de calidad. Queremos estudiar si ambos medios de presentación de la información conducen a procesos cognitivos y metacognitivos diferentes, manifestados en diferentes preguntas. Si esto fuera así, significaría que ambos medios pueden activar mecanismos mentales diferentes para el aprendizaje y los didactas podríamos aprender a utilizarlos con provecho.

Dado que la influencia de las metas o tareas propuestas sobre la frecuencia y tipo de las preguntas ha sido suficientemente probado, en este experimento estudiaremos la influencia de otra variable de interés en la formulación de preguntas: el medio a través del cual se presenta la información. Los medios considerados son dos: la realidad tangible (dispositivos físicos reales) que se visualiza y se manipula, ó textos esos dispositivos (sin imágenes).

El proceso de construcción de una representación mental de los dispositivos a partir de textos, puede significar una saturación de la memoria de trabajo, cuya capacidad está limitada. Dicho de otro modo, si los estudiantes tienen obstáculos en la representación de las entidades (objetos, eventos) sus recursos cognitivos se saturarán en este intento y no podrán ocuparse de comprender los mecanismos causales que están implicados en los dispositivos. Por el contrario, la observación directa de los dispositivos debe suponer menos obstáculos en la representación de las entidades (pueden visualizarse) y una liberación de los recursos cognitivos para intentar comprender las causas de los eventos mostrados.

Por tanto, las hipótesis de este experimento fueron las siguientes (Torres, 2009; Torres y Sanjosé, 2009):

- 1) Dado que en la condición observar no se esperan dificultades en la representación mental de las entidades presentes en los dispositivos, se espera que el número de preguntas de tipo T1 sea menor en la condición Observar que en la condición Leer:  $T1(\text{observar}) < T1(\text{leer})$ .
- 2) La memoria de trabajo tiene una capacidad limitada. Si se libera la memoria de trabajo de la carga de tener que representar las entidades, se tienen recursos cognitivos para focalizar la atención sobre las causas del funcionamiento de los dispositivos, en especial sobre aquello que explicaría el evento discrepante. Por tanto, se espera que el número de preguntas T2 en la condición Observar sea mayor que en la condición Leer:  $T2(\text{observar}) > T2(\text{leer})$ . Y también  $T2\text{-Diana}(\text{observar}) > T2\text{-Diana}(\text{leer})$ .
- 3) No se tienen predicciones claras sobre las preguntas T3 producidas por obstáculos para representar acontecimientos futuros o consecuencias de condiciones diferentes a las mostradas (“Si-Entonces”). Sin embargo, es posible que la presencia física de los dispositivos y la posibilidad de manipularlos (que no se alienta pero se permite), genere más preguntas de este tipo en la condición Observar.

## **Método**

### Sujetos

La muestra estuvo formada por un total de 35 alumnos de ambos sexos de 4º de ESO en España (10º grado). La edad típica fue de 16 años. Todos los sujetos eligieron la materia de Física y Química como opción. El centro educativo es un Instituto de Secundaria Pública situado en una población de más de 10.000 habitantes de la provincia de Valencia (España). La muestra procedió de dos grupos naturales en el centro educativo (N1= 15; N2= 20). Cada uno de los grupos se asignó a una condición experimental diferente. Estos grupos fueron equivalentes en rendimiento académico promedio e interés por la ciencia, según informe de los profesores.

### **Diseño y variables**

El diseño experimental fue factorial “2” (Observar los dispositivos vs Leer sobre los dispositivos). Las variables dependientes fueron: el número total de preguntas formuladas, el número de preguntas de cada tipo: sobre representación de las entidades (T1), justificación de las entidades (T2) y predicciones ó preguntas “Si-Entonces” (T3). Se atendió de modo especial a las preguntas de justificación de las entidades dirigidas expresamente al evento discrepante en cada dispositivo (preguntas T2-Diana).

**Materiales**

Se construyeron dos dispositivos para ser utilizados en la condición Observar. Estos dispositivos fueron elegidos por su capacidad de provocar perplejidad, ya que violan, en apariencia, las expectativas que las personas generan ante ellos. Fueron los siguientes:

- a) El doble cono que asciende por un plano inclinado (que titulamos como “acróbata trepador”) consiste en un objeto en forma de dos conos unidos por su base, que se deposita sobre dos guías rectas que forman un plano inclinado. Cuando las guías son paralelas, el doble cono desciende rodando por ellas como se espera. Sin embargo, cuando las guías se disponen para que formen una “V” con su v rtice abajo, el doble cono asciende por el plano inclinado sin ayuda.
- b) El diablillo cartesiano. Se trata de un dispositivo histórico bien conocido que en este caso se fabricó con una tapadera de bolígrafo a la que se añadió un trozo de plastilina sujeta con un pequeño alambre para darle estabilidad. Este objeto se introduce en una botella de plástico transparente (de 1,5 litros de capacidad) casi llena de agua. Luego la botella se cierra con el tapón bien enroscado. El diablillo flota en el agua. Cuando se oprime la botella con las manos, el diablillo se hunde hasta el fondo. Sin embargo, cuando se deja de apretar la botella, el diablillo regresa a la superficie.

Tanto en la condición Observar como en la condición Leer, el orden de presentación de la información fue la misma:

- a) Activación de un esquema explicativo en los estudiantes, adquirido a partir de experiencias cotidianas. Por ejemplo: un objeto redondo cae por una rampa.
- b) Presentación de un evento concordante con este esquema. Por ejemplo: el doble cono cae por la rampa formada por las 2 guías rectas y paralelas.
- c) Presentación de un evento discrepante con ese mismo esquema explicativo. Por ejemplo: si las guías forman una “V”, el doble cono rueda hacia arriba por el plano inclinado.

**Procedimiento**

En la condición Observar, los estudiantes visualizaron el funcionamiento completo de cada uno de los dispositivos uno a uno en el laboratorio del centro educativo. El orden de los dispositivos fue contrabalanceado. El investigador presente suministró a cada estudiante únicamente la información recogida en los textos de la condición Leer para igualar esta variable. Ante cada dispositivo, uno de los investigadores describió los componentes del mismo y lo hizo funcionar. Después, se permitió a cada estudiante accionar el dispositivo de modo idéntico a como el investigador lo hizo primero. Se grabaron en audio todas las preguntas de los sujetos participantes y, posteriormente, fueron transcritas.

En la condición Leer sobre los dispositivos, la prueba se administró grupalmente dentro del aula de los alumnos en horario escolar. Se repartió un cuadernillo a cada alumno con el orden de los dispositivos contrabalanceado. Las preguntas quedaron registradas en los propios cuadernillos repartidos a cada sujeto.

En ambas condiciones experimentales, las instrucciones fueron leídas y comentadas por los investigadores antes de la tarea.

Las preguntas fueron clasificadas de acuerdo con la taxonomía de Ishiwa et al (2009) por 3 jueces independientes, uno de los investigadores y dos expertos externos a la investigación cada uno de los cuales clasificó las preguntas en sólo una de las condiciones experimentales. Los valores de *kappa* se situaron entre 0,89 y 0,93 en todos los casos.

## Resultados

### Las preguntas formuladas por los sujetos

Se recogieron un total de 156 preguntas sobre los dispositivos para los/las 35 alumnos/as de la muestra, lo que implica un promedio de 4,46 preguntas/ sujeto que es una cifra alta, a juzgar por los promedios de otros experimentos similares (Ishiwa, Sanjosé y Otero, 2009). Del total de preguntas 77 corresponden a la condición experimental Observar los dispositivos y 79 a la condición Leer. Por tanto se obtuvieron promedios de 5,13 preguntas/sujeto en la condición Observar y 3,95 preguntas/sujeto en la condición Leer sobre los dispositivos.

### Diferencias entre condiciones experimentales

La tabla 1 resume los resultados obtenidos.

Tipo de pregunta	Promedio (Desviación T�pica)	
	Observar	Leer
T1	0,33 (0,62)	1,55 (1,90)
T2	3,53 (2,95)	1,95 (2,16)
T2-Diana, dirigidas al evento discrepante	2,87 (2,53)	1,30 (1,38)
T3	1,27 (2,89)	0,05 (0,22)
Total de preguntas	5,13 (5,26)	3,95 (2,82)

Tabla 1.- Promedio y desviación t pica para cada tipo de pregunta en cada condición experimental.

El análisis de varianza realizado muestran diferencias significativas para las preguntas sobre entidades, T1, ( $F(1,33)= 5,637$ ;  $p= 0,024$ ), y para las preguntas causales dirigidas expresamente al evento discrepante, T2-Diana, ( $F(1,33)= 5,513$ ;  $p= 0,025$ ). La significación queda muy cerca del límite estándar admitido por la comunidad internacional ( $p= 0,05$ ) para las preguntas que intentan justificar las entidades, T2, ( $F(1,33)= 3,366$ ;  $p= 0,076$ ) y para las preguntas de carácter hipotético ("Si- Entonces"), T3, ( $F(1,33)= 3,552$ ;  $p= 0,068$ ). Sin embargo, claramente no existieron diferencias significativas en el total de preguntas formuladas por los estudiantes, en ambas condiciones ( $F(1,33)= 0,735$ ;  $p= 0, 397$ ).

Esto quiere decir que el promedio del total de preguntas en ambas condiciones experimentales fue similar, pero la distribución de estas preguntas entre los diferentes tipos de pregunta fue diferente.

## Conclusiones

El objetivo general de esta investigación fue estudiar algunas condiciones particulares en que las preguntas causales son producidas por los estudiantes de ciencias. En concreto, hemos centrado la atención en los beneficios que se podrían derivar de la observación y manipulación de dispositivos experimentales, como los que se utilizan en los Laboratorios de ciencias y en los Museos interactivos de ciencias. Se trató de estudiar si inducen a la formulación de más y mejores preguntas por parte de los estudiantes, respecto a la situación usual de aula en donde se lee sobre dispositivos pero no se visualizan en la realidad ni se manipulan los mismos.

Los resultados para las frecuencias en cada tipo de preguntas apoyan las predicciones hechas, es decir, se obtuvieron más preguntas sobre conocimiento de entidades (tipo T1) en la condición Leer que en la condición Observar, como se esperaba, al igual que una mayor cantidad de preguntas asociadas con justificaciones de las entidades (tipo T2) en la condición Observar el dispositivo que en la condición Leer sobre el dispositivo. A pesar de que el número promedio de preguntas totales fue muy similar en ambas condiciones experimentales, el promedio de preguntas T1 fue claramente superior en la condición Leer, mientras que el promedio de preguntas T2 fue superior en la

condición Observar, especialmente cuando se atiende a las preguntas focalizadas en el evento discrepante en cada dispositivo.

Un resultado no esperado a priori es el promedio de preguntas de carácter hipotético (“Si-Entonces”), T3, en la condición experimental Observar los dispositivos: 1,27 preguntas/sujeto. En todos los estudios sobre preguntas formuladas para obtener información en tareas de lectura de textos expositivos, incluido el presente, el número de preguntas de este tipo que se obtiene es muy pequeño, cercano a cero, (ver por ejemplo Graesser y Pearson, 1994). Este resultado podría estar de acuerdo con uno de los hallazgos de Ferguson y Hegarty (1995).

En un completo estudio sobre el aprendizaje de los principios físicos de las poleas, Ferguson y Hegarty encontraron que los sujetos experimentales que estudiaban a través de esquemas gráficos y dibujos sobre poleas, alcanzaban niveles de aprendizaje equivalentes a los de los sujetos que estudiaban mediante la observación y manipulación de poleas reales. Sin embargo, a la hora de enfrentarse a nuevos problemas de aplicación de esos principios, los sujetos que observaron y manipularon las poleas rindieron significativamente mejor que los que leyeron e interpretaron esquemas gráficos. Este resultado apunta hacia una diferencia cognitiva importante entre los dos medios utilizados para presentar el material de aprendizaje. Una vez se comprende un principio científico (el “Qué”, el “Cómo” y el “Por qué”) su aplicación en una nueva situación exige haber construido también reglas de producción de tipo “Si (condición) – Entonces (acción)”. Las particularidades del nuevo contexto implican el condicional (“Si”), mientras que la acción (“Entonces”) es la aplicación del principio general bajo las nuevas restricciones o condiciones. Esta explicación post-hoc va a ser estudiada bajo control experimental en el próximo futuro.

### **Bibliografía**

- Ferguson, E. L. & Hegarty, M. (1995). Learning with real machines or diagrams: Application of knowledge to real-world problems. *Cognition and Instruction*, 13(1), 129-160.
- Graesser, A. C., & Person, N. K. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal*, 31, 104-137.
- Greeno, J.G. (1989). Situations, mental models, and generative knowledge. In D. Klahr and K. Kotofsky (Eds.) *Complex Information Procession: The Impact of Herbert A. Simon*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 285-318.
- Ishiwa, Otero y Sanjosé. (2009). Generation of information- seeking questions on Scientific texts under Different Reading Goals. Enviado a *Journal of Educational psychology*.
- Ishiwa, K., Mac as, A., Maturano, C., Otero, J. (2009). Generation of information-seeking questions when reading science texts for understanding. Manuscrito pendiente de revisión.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension. A paradigm for cognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kintsch, W. y Greeno, J. G. (1985). Understanding and Solving Word Arithmetic Problems. *Psychological Review*, 92-1, 109-129.
- Nathan, M.J., Kintsch, W., Young, E. (1992). A Theory of Algebra-Word-Problem Comprehension and Its Implications for the Design of Learning Environments. *Cognition and Instruction*, 9(4), 329 – 389.
- Otero, J. (2009). Question Generation and Anomaly Detection in Texts. In D. Hacker, J. Dunlosky, & A. Graesser (Eds), *Handbook of Metacognition in Education* (pp. 47-59). New York: Routledge.

Torres y Sanjosé (2009). *Students’ questions about scientific devices*. Comunicación presentada en el Second International Seminar on Research on Questioning. CIDTFF – Research Centre for

Didactics and Technology in Teacher Education, University of Aveiro, Portugal. 18th-20th  
Noviembre de 2009.

Torres, T. (2009). *Las preguntas de los estudiantes ante dispositivos científicos*. Trabajo de tercer  
ciclo. Doctorado en investigación en didáctica de las ciencias experimentales. Universitat de  
València.

Trabasso, T. y Magliano, J.P. (1996). Conscious Understanding During Comprehension. *Discourse  
Processes*, 21, 255-287.

van Dijk, T. & Kintsch. W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic  
Press.