

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

DOCTORAT EN INVESTIGACIÓ EN DIDÀCTICA
DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS



PREGUNTAS DE LOS ESTUDIANTES SOBRE DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES EN DISTINTAS SITUACIONES DIDÁCTICAS: GÉNESIS Y TIPOLOGÍA

TESIS DOCTORAL

Presentada por
TARCILO TORRES VALOIS

Director:
Dr. VICENTE SANJOSÉ
Profesor Titular de la Universidad de Valencia.

Co-directores
Dr. CARLOS ARTURO SOTO LOMBANA
Universidad de Antioquia, Colombia
Dra. BEATRIZ ESTELA MILICIC
Universidad Nacional de Rosario, Argentina

VALENCIA, 2013

Doctorado en Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universitat de València

Vicente Sanjosé López, doctor en física y profesor titular de universidad a tiempo completo en el departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universitat de València
Y

Carlos Arturo Soto Lombana, doctor en química y profesor titular a tiempo completo en la facultad de educación de la Universidad de Antioquia en Medellín, Colombia
Y

Beatriz Estela Milicic, doctora en pedagogía y profesora titular a tiempo completo en el departamento de física de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

CERTIFICAN

-Que el presente trabajo titulado “**Preguntas de los Estudiantes sobre Dispositivos Experimentales en distintas Situaciones Didácticas: Génesis y Tipología**” ha sido realizado bajo nuestra dirección por D. Tarcilo Torres Valois, y constituye su Memoria de Tesis Doctoral para optar al grado de doctor en Didáctica de las Ciencias por la Universitat de València (España).

Para que así conste, y en cumplimiento de la legislación vigente, presentamos esta memoria de Tesis Doctoral firmando el presente certificado en Valencia a

Fdo.: Dr. Vicente Sanjosé

Fdo.: Dr Carlos A. Soto

Fdo.: Beatriz E. Milicic

Doctorado en Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universitat de València

Vicente Sanjosé López, doctor en física y profesor titular de universidad a tiempo completo en el departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universitat de València

Y

Carlos Arturo Soto Lombana, doctor en química y profesor titular a tiempo completo en la facultad de educación de la Universidad de Antioquia en Medellín, Colombia

Y

Beatriz Estela Milicic, doctora en pedagogía y profesora titular a tiempo completo en el departamento de física de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina

CERTIFICAN

-Que el material fotocopiado adjunto corresponde a la primera y última página de los artículos ya publicados en revistas especializadas, o bien a las cartas de aceptación de los artículos pendientes de publicación, todos ellos compendiados en esta memoria de tesis doctoral.

-Que D.Tarcilo Torres Valois es co-autor de todos y cada uno de los artículos publicados o aceptados para su publicación, compendiados en esta memoria, e incluidos en ella en los capítulos 5, 6, 7, 8 y 9. Cada uno de estos capítulos se corresponde, íntegramente, con un artículo publicado o aceptado para su publicación.

-Que D.Tarcilo Torres Valois ha sido autor principal en todos ellos y, por tanto, los trabajos de elaboración de todos y cada uno han servido para su formación como investigador, cumpliendo así con los objetivos de este Doctorado por la Universitat de València.

-Que todos y cada uno de los artículos publicados o aceptados para su publicación, compendiados en esta memoria son originales y no han sido utilizados por ninguno de sus autores en otros documentos ni tesis doctorales, ni para fines distintos de los descritos en la legislación.

Para que así conste, y en cumplimiento de la legislación vigente, presentamos esta memoria de Tesis Doctoral firmando el presente certificado en Valencia a

Fdo.: Dr. Vicente Sanjosé

Fdo.: Dr Carlos A. Soto

Fdo.: Beatriz E. Milicic

Doctorado en Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universitat de València

Vicente Sanjosé López, doctor en física y profesor titular de universidad a tiempo completo en el departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universitat de València

Y

Carlos Arturo Soto Lombana, doctor en química y profesor titular a tiempo completo en la facultad de educación de la Universidad de Antioquia en Medellín, Colombia

Y

Beatriz Estela Milicic, doctora en pedagogía y profesora titular a tiempo completo en el departamento de física de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina

INFORMAN sobre la participación de D. Tarcilo Torres Valois en la elaboración de las investigaciones y artículos de revistas especializadas compendiados en esta memoria de tesis doctoral.

1.-En cada uno de los artículos publicados o aceptados para su publicación, compendiados en esta memoria de tesis doctoral, D. Tarcilo Torres Valois ha realizado las siguientes tareas:

A.-Discusión con al menos uno de los directores de la tesis doctoral, de los objetivos principales de la investigación presente.

B.-Estudio individual de las fuentes documentales especializadas que hayan abordado temáticas pertinentes, como revistas internacionales, libros y tesis doctorales. Consulta exhaustiva de los catálogos, portales de difusión científica y bases de datos de reconocido prestigio internacional, como JCR, SSCI, ISI, ISOC, SCOPUS, DIALNET, RESH, INRECS, CIRC, Latindex, ULRICH's, MLA, DICE, ...

C.-Determinación de las muestras experimentales más convenientes, en función de sus características y también de su accesibilidad respetando los códigos éticos, tras discusión con uno o ambos codirectores de la tesis doctoral.

D.-Diseño y elaboración de materiales y/o instrumentos para la toma de datos, en interacción con uno o ambos codirectores de la tesis.

E.-Validación de materiales e instrumentos, y posterior análisis de datos para determinar la conveniencia de modificaciones en interacción con uno o ambos codirectores.

F.-Conducción del procedimiento de obtención de datos experimentales a partir de las muestras de sujetos.

G.-Vaciado de los datos experimentales obtenidos, usando los medios e instrumentos adecuados, como Excel.

H.-En colaboración con uno o ambos codirectores de la tesis, análisis de los datos obtenidos, tanto cualitativos como cuantitativos utilizando instrumentos adecuados, como SPSS.

I.-En colaboración con los coautores de cada artículo, redacción del mismo, corrección y rescritura cuando procedió, tras las sugerencias de los revisores.

2.-Estas tareas han sido realizadas por D. Tarcilo Torres Valois también en el artículo en el que él no figura como primer firmante: "Effects of scientific information format on the comprehension self-monitoring processes: question generation", publicado en *Revista Psicodidáctica*.

Para que así conste en cumplimiento de la legislación vigente y a los efectos oportunos, en Valencia a

Fdo.: Dr. Vicente Sanjosé

Fdo.: Dr Carlos A. Soto

Fdo.: Beatriz E. Milicic

Doctorado en Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universitat de València

Vicente Sanjosé López, doctor en física y profesor titular de universidad a tiempo completo en el departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universitat de València

Y

Carlos Arturo Soto Lombana, doctor en química y profesor titular a tiempo completo en la facultad de educación de la Universidad de Antioquia en Medellín, Colombia

Y

Beatriz Estela Milicic, doctora en pedagogía y profesora titular a tiempo completo en el departamento de física de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

INFORMAN sobre la calidad de los artículos publicados o aceptados para su publicación en revistas especializadas, compendiados en esta memoria de tesis doctoral, presentada por D. Tarcilo Torres Valois.

Artículos e indicadores de su calidad

1.-Torres, T.; Duque, J.K.; Ishiwa, K.; Sánchez, G.; Solaz-Portolés, J.J. y Sanjosé, V. (2012). Preguntas de los estudiantes de Educación Secundaria ante dispositivos experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(1), 49–60.

En el CIRC (Clasificación Integrada de Revistas Científicas), se encuentra en la categoría “**A**” por el CIRC (Clasificación Integrada de Revistas Científicas). Cumple el criterio **AI**: Revistas indexadas en Social Sciences Citation Index (SSCI).

2.-Torres, T. y Sanjosé, V. (2014). Generación de preguntas sobre información no textual: una validación empírica del modelo Obstáculo-Meta en la comprensión de dispositivos experimentales de ciencias. Aceptado para su publicación en la revista *Universitas Psychologica*, 13 (1).

En el CIRC (Clasificación Integrada de Revistas Científicas), se encuentra en la categoría “**A**” por el CIRC (Clasificación Integrada de Revistas Científicas). Cumple el criterio **AI**: Revistas indexadas en Social Sciences Citation Index (SSCI).

3.-Sanjosé, V.; Torres, T. y Soto, C. (2013). Effects of scientific information format on the comprehension self-monitoring processes: question generation. Pendiente de publicación en *Revista de Psicodidáctica*, 18(2). DOI: 10.1387/RevPsicodidact.4623.

Es una revista categorizada como “**Ex**” por el CIRC (Clasificación Integrada de Revistas Científicas). Cumple el criterio **EXI**: revistas indexadas en el primer cuartil según el Impact Factor de cualquiera de las categorías del Journal citation reports (Thomson Reuters). En este caso, la categoría en JCR es “Psychology-Educational” en el SSCI.

4.-Torres, T.; Milicic, B.; Soto, C. y Sanjosé, V. (2013). Generating students' information seeking questions in the scholar lab: what benefits can we expect from inquiry teaching approaches? Aceptado para su publicación en la revista *Eurasia Journal of Mathematics, Science Technology Education*.

En el CIRC (Clasificación Integrada de Revistas Científicas), se encuentra en la categoría “**A**” por el CIRC (Clasificación Integrada de Revistas Científicas). Cumple el criterio **AI**: Revistas indexadas en Social Sciences Citation Index (SSCI).

5.- Torres, T.; Milicic, B. y Sanjosé, V. (2013). Un estudio del contenido científico de las preguntas formuladas por estudiantes cuando intentan comprender dispositivos experimentales. Aceptado para su publicación en la revista *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 27.

Se trata de una revista categorizada como “**B**” por el CIRC (Clasificación Integrada de Revistas Científicas). Cumple los criterios **B1** y **B2**. Criterio **B1**: Revistas indexadas en el primer cuartil según promedio de citas de cualquiera de las categorías del Índice de impacto de las revistas españolas de ciencias sociales o del Índice de impacto de las revistas españolas de ciencias jurídicas (Grupo EC3). Se toma como referencia los impactos acumulativos de los últimos 5 años. En el RESH-2011 tiene un impacto acumulado de 0,356 que al sitúan en el 1er cuartil.

Criterio **B2**: Revistas indexadas en DICE (Difusión de las revistas españolas de ciencias sociales y humanas) (Grupo EPUB) y que cumplen con el requisito de contar con evaluación por expertos y además estar presentes en el Catálogo Latindex. Para ANEP/FECYT tiene también categoría “**B**” según DICE, y cumple 32 criterios Latindex de los 34 posibles.

Para que conste a los efectos oportunos, firmamos en Valencia a



Fdo.: Dr. Vicente Sanjosé



Fdo.: Dr Carlos A. Soto

Fdo.: Beatriz E. Milicic

Materiales que Justifican la
Publicación o Aceptación de los
Artículos Compendiados
en esta Memoria

PREGUNTAS DE LOS ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN SECUNDARIA ANTE DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES

TORRES, TARCILO¹; DUQUE, JOHANNA¹; ISHIWA, KOTO²; SÁNCHEZ, GLORIA³; SOLAZ-PORTOLÉS, JUAN JOSÉ³ y SANJOSÉ, VICENTE⁴

¹ Estudiante de doctorado en la Universitat de València.

² Estudiante de doctorado en la Universidad de Alcalá de Henares.

³ Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universitat de València.

⁴ Instituto Universitario-Polibienestar. Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universitat de València.

tartova@alumni.uv.es

kellyjohannad@gmail.com

ishiwakoto@hotmail.com

gloria.sanchez@uv.es

joan.solaz@uv.es

vicente.sanjose@uv.es

Resumen. Las preguntas forman parte esencial del trabajo que desarrollan los científicos para construir nuevo conocimiento. Sin embargo, los alumnos formulan un número muy escaso de preguntas en las situaciones usuales de aula. En este trabajo se realiza una revisión de las investigaciones realizadas sobre génesis de preguntas y se describen tres estudios empíricos realizados con estudiantes de diferentes niveles educativos ante dispositivos experimentales. Los objetivos fueron: 1) Estimular y analizar las preguntas de los estudiantes cuando intentan comprender los dispositivos; 2) Contrastar la idea de que la mayoría de preguntas destinadas a obtener información tienen su origen en inferencias fallidas; 3) Estudiar la influencia del nivel de conocimientos sobre las preguntas formuladas. El procedimiento produjo una cantidad aceptable de preguntas para obtener información, motivadas por conciencia de incompreensión de los estudiantes. Los resultados obtenidos apoyan la taxonomía de preguntas propuestas y muestran que los estudiantes de mayor conocimiento formulan más preguntas destinadas a construir un modelo científico del funcionamiento de los dispositivos. Los resultados se replican de forma consistente.

Palabras clave. Preguntas, aprendizaje de las ciencias, dispositivos experimentales, educación secundaria.

Secondary Education Students' Questions on Experimental Devices

Summary. Questions are essential in the construction of new knowledge by scientists. Nevertheless, students ask very few questions in usual classroom situations. In this paper we review the research work on question generation and describe three empirical studies conducted with students of different educational levels facing experimental devices. The aims were: 1) To stimulate and to analyse the questions asked by students when trying to understand the devices; 2) To probe the idea that most of the information seeking questions are originated by failed inferences; 3) To study the influence of the level of students' knowledge on the questions asked. The procedure produced a significant quantity of information seeking questions, caused by the students' awareness of misunderstanding. The results obtained support the taxonomy of questions proposed and show that higher knowledge students ask significantly more questions addressed to the scientific model construction than lower knowledge students. The results are replicated consistently.

Keywords. Questions, Science learning, experimental devices, secondary education.

Secondary Education Students' Questions on Experimental Devices

TORRES, TARCILLO¹; DUQUE, JOHANNA¹; ISHIWA, KOTO²; SÁNCHEZ, GLORIA³; SOLAZ-PORTOLÉS, JUAN JOSÉ³; y SANJOSÉ, VICENTE⁴

¹ Estudiante de doctorado en la Universitat de València.

² Estudiante de doctorado en la Universidad de Alcalá de Henares.

³ Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universitat de València.

⁴ Instituto Universitario-Polibieneestar. Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universitat de València.

tartova@alumni.uv.es

kellyjohannad@gmail.com

ishiwakoto@hotmail.com

gloria.sanchez@uv.es

joan.solaz@uv.es

vicente.sanjose@uv.es

Summary

Introduction

Training students to ask questions will improve their comprehension, learning and memory (Roca, 2009; Rosenshine, Meister and Chapman, 1996). Nevertheless, students ask very few questions in usual classroom situations (Dillon, 1988). What kind of questions have to be asked to stimulate the classroom? Information seeking questions (ISQ) have been selected by many authors as 'prototypical' or 'genuine' (Otero and Graesser, 2001; Van der Meij, 1994; Flammer, 1981). Here we describe three empirical studies conducted with students of different educational levels facing experimental devices in different conditions. The aims were: 1) To stimulate and to analyse the questions asked by students when they try to understand the devices; 2) To probe that most of the ISQ are originated by failed inferences; 3) To study the influence of the level of students' knowledge on ISQ.

Under the assumption of ISQ came from failed inferences, we adapted the taxonomy of inferences proposed by Trabasso and Magliano (1996) to ISQ:

T1: Questions addressed to better know the entities (objects or events). The usual expressions are "What, When, Where...?".

T2: Addressed to justify objects or events (causality) and usually expressed as "Why" questions.

T3: Addressed to anticipate future events, consequences or what would happen if things were different.

Method

In study 1 the students read about physics devices; in study 2 students watched or manipulated the same physics devices; in study 3 students watched and manipulated chemical devices.

Subjects: Study 1: 35 10th grade students of both sexes participated. Study 2: 55 10th grade and 47 12th grade

students. Study 3: 31 10th grade and 34 12th grade students.

Materials: Two physics devices in studies 1 and 2, and two chemical devices in study 3, provoking perplexity in the students. The physics devices were: a) A double-cone rolling upwards on a «V-shape» slope; b) The 'Cartesian diver'. The chemical devices were: c) A dissolution of water, glucose, sodium hydroxide and methylene blue which change from blue to colorless but returns to blue shaking the bottle; d) A «cloudiness» appearing when we blow inside a dissolution of calcium hydroxide, but disappearing if we continue blowing.

Variables and Measurements: In the three studies the independent variables were the amount of ISQ of every kind asked by students. In studies 2 and 3 we took into account the academic level of participants: 10th and 12th grades.

Procedure: We stimulated students to ask questions by means of: a) Students' privacy in question asking; b) Rewarding the effort asking questions; c) Creating perplexity with the devices operation; d) Setting one goal for the task: understanding for explaining.

Results and Discussion

The procedure and strategies used produced a significant amount of ISQ. The averages per student were: study 1: 4.46 questions; study 2: 7.41 and study 3: 7.42. These considerable amounts can be compared to 1 question in 6-7 hours reported by Graesser and Person (1994).

Over 95% of questions could be classified as T1, T2 or T3 according to the taxonomy proposed. Hence the taxonomy for questions seems appropriate and so, most of the comprehension obstacles in science seem to come from failed inferences.

As expected, 12th grade students asked a significant higher average of questions and a significant higher average of questions including scientific vocabulary for laws, principles or concepts.



Bogotá, D.C., mayo 2 de 2013

Doctores
VICENTE SANJOSÉ LÓPEZ
Universidad de Valencia, España

TARCILO TORRES VALOIS
Universidad de Antioquia, Colombia

Reciba(n) un cordial saludo,

Tenemos el gusto de informarles que el artículo titulado ***Generación de preguntas sobre información no textual: una validación empírica del modelo Obstáculo-Meta en la comprensión de dispositivos experimentales de ciencias*** del cual usted(es) es(son) autor(es), ha sido aprobado en este mes de abril para publicación en la Revista **UNIVERSITAS PSYCHOLOGICA** luego de haber cumplido con los criterios de calidad evaluados durante los diferentes pasos del proceso editorial. El volumen y número en el cual será publicado el artículo es: Volumen **13** Número **1** Año **2014**.

Atentamente,

WILSON LÓPEZ LÓPEZ
Editor
Revista Universitas Psychologica
Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá.
lopezw@javeriana.edu.co
Tel: (57)1 3208142

Efectos del formato en que se presenta la información científica sobre la autorregulación de los procesos de comprensión: la generación de preguntas

Vicente Sanjosé*, Tarcilo Torres**, y Carlos Soto**

*University of Valencia (Spain), **University of Antioquia (Medellín, Colombia)

Resumen

Formular preguntas es una de las acciones asociadas con procesos metacognitivos de regulación durante tareas de comprensión: los sujetos pueden generar preguntas destinadas a obtener información para salvar obstáculos de comprensión. Se realizaron dos experimentos para estimular, clasificar y analizar las preguntas de los estudiantes en tres condiciones diferentes: leer sobre el funcionamiento de dispositivos científicos experimentales, observarlos en un DVD o manipularlos en el laboratorio. Las preguntas fueron clasificadas usando una taxonomía sencilla. Teniendo en cuenta los principios multimedia de aprendizaje, las ventajas de imágenes realistas animadas para el aprendizaje de procesos dependientes del tiempo y el efecto de la actividad procesual-motora, se predijo diferente distribución de preguntas en las tres condiciones consideradas. Los resultados confirmaron lo esperado: la lectura de textos estimuló más las preguntas destinadas a describir las entidades, mientras que las condiciones de observar y manipular estimularon más las preguntas causales. Además, se analizó el efecto del conocimiento previo sobre las preguntas que incluyen conceptos científicos.

Palabras clave: Didáctica de las ciencias experimentales, autorregulación, generación de preguntas, dispositivos experimentales.

Abstract

Generating questions is a regulatory action associated with self-monitoring processes in comprehension tasks: subjects can ask 'information seeking questions' to solve comprehension obstacles. A sequence of two related experiments were conducted to trigger, classify and analyse questions asked under different conditions: reading a text about experimental scientific devices operating, watching these devices in a DVD and manipulating them in the LAB. Students' information seeking questions were classified using a simple taxonomy. Taking into account the multimedia learning principles, the advantages of realistic animations for understanding time-depending processes and the effect of the procedural-motor activity, we expected students would ask different questions under each of the aforementioned conditions. Results confirmed the expectations: the reading condition triggered more questions addressed to describe the entities while the watching and manipulation conditions stimulated more causal questions. In addition, the effect of prior knowledge on questions including scientific concepts was analyzed.

Keywords: Science education, self-regulation, question generation, experimental devices.

Agradecimientos: Investigación financiada por la Universidad de Valencia (Programa de Movilidad del Profesorado) y la Universidad de Antioquia (Programa de Sostenibilidad 2011-2012).

Correspondencia: Vicente Sanjosé, Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Valencia. Avda Tarongers 4, 46022-Valencia. E-mail: vicente.sanjose@uv.es

- Rosenshine, B., Meister, C., & Chapman, S. (1996). Teaching students to generate questions: A review of the intervention studies. *Review of Educational Research*, 66, 181-221. doi:10.3102/00346543066002181.
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 49-69). Cambridge: Cambridge University Press.
- Torres, T., Duque, J. K., Ishiwa, K., Sánchez, G., Solaz-Portolés, J. J., & Sanjose, V. (2012). Preguntas de los estudiantes de educación secundaria ante dispositivos experimentales. *Enseñanza de las Ciencias* 30(1), 49-60.
- Trabasso, T., & Magliano, J. P. (1996). Conscious understanding during comprehension. *Discourse Processes*, 21, 255-287. doi:10.1080/01638539609544959.
- Van der Meij, H. (1990). Question asking: To know that you do not know is not enough. *Journal of Educational Psychology*, 82, 505-512. doi:10.1037/0022-0663.82.3.505.
- Wang, M. C., Haertel, G. D., & Walberg, H. J. (1993). Toward a knowledge base for school learning. *Review of Educational Research*, 63(3), 249-294. doi: 10.3102/00346543063003249.
- Watts, M., Gould, G., & Alsop, S. (1997). Questions of understanding: categorising pupils, questions in science. *School Science Review*, 79(286), 57-63.
- Woolnough, B. E., & Allsop, T. (1985). *Practical work in science* Cambridge: Cambridge University Press.

Vicente Sanjosé López is PhD in Physics, and professor of Science Education at the University of Valencia (Spain). His research focalizes on the psychological foundations of science learning and teaching. He is author of several research papers on comprehension of science texts, comprehension monitoring and problem-solving.

Tarcilo Torres Valois is a doctoral student in the Science Education program at the University of Valencia (Spain). He is lecturer at the University of Antioquia (Colombia).

Carlos Arturo Soto Lombana is PhD in Science Education and professor at the University of Antioquia (Colombia) where he was Dean of the Faculty of Education. He is the co-ordinator of the 'Science and Mathematics Education Group' and he is author of several research papers on the philosophical foundations of science education and on learning in interactive museums.

Received date: 20-02-2012

Review date: 05-09-2012

Accepted date: 10-12-2012



Manuscript ID : Eurasia-2012/123

Received : 24.09.2012

Accepted : 17.02.2013

Author/s _____:

Tarcilo Torres, University of Antioquia, Colombia & **Beatriz Milicic**, National University of Rosario, Argentina

Carlos Soto, University of Antioquia, Colombia & **Vicente Sanjosé**, University of Valencia, Spain

Country : Colombia, Argentina & Spain

Dear Dr. Vicente Sanjosé;

Congratulation!!! According to our record, your manuscript, entitled "**Generating students' information seeking questions in the scholar lab: what benefits can we expect from inquiry teaching approaches?**" has been accepted for publication in the Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education (EURASIA).

Thank you very much for submitting your article to the *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education (EURASIA)*.

Sincerely yours,

Dr. Muhammet Uşak
Associate Editor of Eurasia Journal
www.ejmste.com

Dr. Muhammet USAK
ESER Treasurer
www.eurasianser.org

Rafael Valls Montés, profesor Catedrático de la Universitat de València y director de la revista DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES Y SOCIALES,

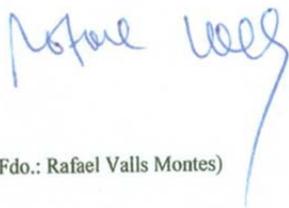
CERTIFICA QUE

Tarcilo Torres, Beatriz Milicic y Vicente Sanjosé son coautores de artículo científico titulado

“Un estudio del contenido científico de las preguntas formuladas por estudiantes cuando intentan comprender dispositivos experimentales”

que ha sido aceptado para su publicación en la precitada revista, en el número 27 del año 2013.

Para que conste a los efectos oportunos, firmo la presente certificación en Valencia, a 28 de noviembre de 2012.



(Fdo.: Rafael Valls Montes)

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a una reina de Medellín, mi amada, amiga y compañera Bibiana, por haberme mostrado la sutileza de la vida, la bondad y el amor; y también por haberme acompañado en tantos caminos iniciados.

Por todo ello y mucho más, te dedico esta tesis doctoral a ti “Bibis”.

Y, a la memoria de mis padres y hermanos que tanto me enseñaron y que ahora no están.

AGRADECIMIENTOS

En los largos años de investigación que demora la realización una tesis como ésta, interviene un grupo importante de personas e instituciones. Sería muy difícil que una sola persona lograra avanzar. En mi caso, y, en primer lugar, quiero agradecer a aquellas personas e instituciones, cuyos aportes desde el punto de vista académico han sido inconmensurables para la finalización de esta tesis. Por una lado, mi director, el profesor Dr. Vicente Sanjose. Quiero agradecerle, en primer lugar, el haberme dado la oportunidad de comenzar en este apasionante campo de investigación sobre el que versa esta tesis. Mis más entusiastas agradecimientos por su apoyo permanente, por su claridad en sus orientaciones, por su sentido agudo para identificar incoherencias y así poderlas corregir, por sus observaciones en busca de la claridad y profundidad, por su infinita dedicación a esta tesis, por las horas, días semanas, meses y años invertidos para la finalización de esta investigación y en mi formación. Gracias por mostrarme los caminos de la investigación en este campo. Gracias por haberme permitido y encaminando hacia el mundo de las publicaciones. Gracias por su amistad. Gracias por hacerme ver cuando las cosas no estaban bien. Gracias por confiar en mí, por sacrificar parte de su tiempo correspondiente a otras tareas y dedicarlo a mí y a esta tesis. Gracias por comprenderme en momentos en que las cosas no eran como debían ser y verter su conocimiento y ayudarme a levantar como el ave fénix, por su interés permanente en la búsqueda de la literatura más relevante en este campo, por estar dispuesto siempre a clarificar mis dudas y ayudarme a comprender cuestiones relevantes para la buena marcha de la investigación. Pero sobre todo Dr. Vicente, le agradezco desde lo más profundo de mí ser por haberme ayudado tanto y por haber creído en mí. Sin su presencia esta tesis, estoy absolutamente seguro no se hubiera podido realizar en los términos que se realizó.

A la Dra. Beatriz Milicic, codirectora de esta tesis y quien de una forma muy prestante me ayudo en innumerables tareas que se debían desarrollar para la buena marcha de esta investigación. Su disposición para cualquier requerimiento fue invaluable. Le

agradezco también por sus orientaciones precisas y agudas para que se evitaran tropiezos en el camino hacia la meta.

Al Dr. Carlos Soto y su grupo de investigación GECEM, por haberme acogido cuando regrese un poco desorientado de otras tierras lejanas, producto del profundo dolor personal por la pérdida de un ser querido. Por haberme brindado la oportunidad de compartir visiones sobre el quehacer de la vida universitaria. Por haberme mostrado cómo evitar algunas dificultades donde yo no las hubiera podido ver solo.

Al departamento de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials de la Universitat de València, por la formación académica que me proporcionaron en el Master de investigación, y por las atenciones prestadas en todo momento y a lo largo de esta tesis doctoral. A Desamparados Saurat por su disposición cuando requerí alguna información, física o virtual, y por ayudarme en los procesos administrativos.

A todos los profesores que compartieron parte de su conocimiento y sabiduría conmigo; por haber sido tan amables en el momento que llegaba de tierras lejanas. Porque en los diferentes espacios de enseñanza, siempre estuvieron a mi disposición para orientarme en el campo de la educación en ciencias.

Agradezco a la Universidad de Antioquia, por permitirme trabajar y compartir parte del conocimiento recibido producto de esta tesis doctoral. De igual forma, agradezco a los centros donde realice la recolección de la información empírica para esta investigación, a los sujetos que muy amablemente participaron.

Desde el punto de vista personal, le agradezco infinitamente, con todas mis energías, a mi esposa Bibiana Cuervo, por su incansable apoyo, amor, ternura, ayuda, comprensión, entusiasmo, fe en mí, paciencia, fortaleza en momentos que yo flaqueaba, por largas horas de conversación escuchándome sobre el tema de esta tesis, por el apoyo económico, por su bondad, por su disposición para acompañarme a cualquier lugar cuando yo requería alguna información... Por haber dado todo, incluso en ocasiones sacrificando sus propios intereses en la investigación para que yo avanzara. Le agradezco mucho por haberme apoyado tanto cuando el dolor por la muerte de mi padre llegó a mí. Le agradezco mucho por ser como es: una persona extraordinaria.

La vida la he recibido de Dios y mis padres como un regalo. A Dios por haberme permitido llegar a este mundo y conocer al profesor Vicente. A mis padres (*In Memoriam*) por su lucha permanente para que disfrutara de la vida sin muchas preocupaciones, aun con innumerable sacrificios por parte de ellos.

Quiero agradecer a mis hermanos, Santos, Adela y Gregoria por ser como son, excelentes personas y extraordinarios hermanos (as). A Adela, en particular, le agradezco ayudarme a gestionar el visado para España.

Agradezco a mis sobrinas, especialmente a Aydes y Maileth; de igual forma, a Arley por ayudarme con su gran manejo de los idiomas cuando fue necesario.

Agradezco de corazón a la familia del Dr. Vicente, en particular, a Rodrigo y Lorena por su acogida y por ser tan amables. Mis más profundos agradecimientos.

Finalmente, le doy las gracias a la Familia Bibiana por creer en mí y apoyarme para que no desfalleciera en momentos de desgaste.

En fin, sabiendo que jamás encontraré la forma de agradecerles a todos(as) su constante apoyo y confianza, sólo espero que comprendan que mis ideales, esfuerzos y logros han sido también suyos e inspirados en ustedes.

ÍNDICE

	páginas
CAPÍTULO 1	
Planteamiento del Problema	1
1.1. Introducción	3
1.2. Preguntas de investigación y objetivos de esta tesis	4
1.3. Oportunidad e interés de la investigación	7
1.4. Enfoque y limitaciones de esta investigación	11
1.5. Estructura lógica de la investigación y organización de esta Memoria	12
Fundamentación Teórica	15
CAPÍTULO 2	
Importancia de los dispositivos experimentales en el aprendizaje de las ciencias	17
2.1. Introducción	19
2.2. Conceptualización del trabajo práctico en la educación científica	20
2.3. Evolución histórica y epistemológica de los trabajos prácticos en la enseñanza de las ciencias	24
2.4. Objetivos que se atribuyen al trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias	32
2.5. Propuestas didácticas sobre trabajos prácticos en la educación científica	39
CAPÍTULO 3	
Importancia de las preguntas en el aprendizaje de las ciencias	45
3.1. Introducción	47
3.2. La calidad de las preguntas en contextos educativos: ¿Qué entienden los profesores por una “buena pregunta”?	48
3.3. Las preguntas de los estudiantes: dificultades en su formulación y factores explicativos	52
3.4. Estudios sobre preguntas en las aulas de ciencias experimentales	56
3.5. Ideas principales encontradas en la revisión bibliográfica	68
CAPÍTULO 4	
Bases cognitivas de la generación de preguntas	71
4.1. Introducción	73

4.2. La Comprensión de la Información	74
4.2.1.El modelo de Kintsch y colaboradores	74
4.2.2.Comprensión de la información científica: el modelo de Greeno	77
4.2.3.Efectos del procesamiento corporal de la información sobre la comprensión	80
4.2.3.1.Procesamiento visual de la información	80
4.2.3.2.Aprendizaje multimedia	81
4.2.3.3.El <i>embodiment</i> en la comprensión	83
4.3.4.Generación de inferencias durante la comprensión	84
4.3.4.1.Tipos de inferencias	85
4.3.4.2.La taxonomía de inferencias propuesta por Trabasso y Magliano	86
4.3. El Control de la Comprensión	87
4.3.1.Evaluación de la comprensión	89
4.3.2.Regulación de la comprensión	90
4.4. Modelos cognitivos de generación de preguntas destinadas a obtener información	91
4.4.1.El modelo PREG de Otero y Graesser	91
4.4.2.El modelo Obstáculo-Meta propuesto por Otero	92
4.4.3.Una taxonomía para preguntas procedentes de inferencias fallidas	97
4.4.4.Aplicación del modelo teórico en esta investigación	98
Referencias bibliográficas de la fundamentación teórica	101

ESTUDIOS EMPÍRICOS 133

CAPÍTULO 5

Preguntas de los estudiantes de Educación Secundaria ante dispositivos experimentales	135
5.1. Introducción	139
5.2. Dificultades para formular preguntas en las aulas	140
5.3. ¿Cómo se genera una pregunta?	142
5.4. Las inferencias como origen de las preguntas destinadas a obtener información	143
5.5. Hipótesis	145
5.7. Metodología	146
5.7.1. Sujetos	146
5.7.2. Materiales	147
5.7.3. Variables y Medidas	148
5.7.4. Procedimiento	148
5.8. Resultados	150
5.8.1. Distribución de las preguntas obtenidas	150
5.8.2. Influencia del nivel de conocimientos	152

5.9. Discusión y Conclusiones	154
5.10. Referencias Bibliográficas	157
CAPÍTULO 6	
Generación de preguntas sobre información no textual: una validación empírica del modelo obstáculo-meta en la comprensión de dispositivos experimentales de ciencias	165
6.1. Introducción	169
6.2. Método	173
6.1.1. Participantes	173
6.1.2. Materiales	174
6.1.3. Variables y Medidas	174
6.1.4. Procedimiento	176
6.3. Resultados	178
6.3.1. Estudio cualitativo	178
6.3.2. Estudio cuantitativo	183
6.4. Conclusiones	184
6.5. Referencias bibliográficas	185
CAPÍTULO 7	
Effects of scientific information format on the comprehension self-monitoring processes: question generation	189
7.1. Introduction	193
7.1.1. Questions and the information format	193
7.1.2. Questions and previous knowledge	194
7.1.3. Questions and inferences in science comprehension	195
7.1.4. Hypotheses	196
7.2. Method	197
7.2.1. Participants	197
7.2.2. Materials	198
7.2.3. Procedure	200
7.2.4. Measurements	201
7.3. Results	203
7.3.1. Experiment 1: Questions formulated under conditions of reading, watching or handling experimental devices	203
7.3.2. Experiment 2: Replication and effect of prior knowledge on questions about experimental devices in watching and or handling conditions	205
7.4. Discussion	207
7.4.1. Educational consequences	208
7.4.2. Limitations of this study	209

7.5. References	210
CAPÍTULO 8	
Generating students' information seeking questions in the scholar lab: what benefits can we expect from inquiry teaching approaches?	215
8.1. Introduction	218
8.1.1. Students' questions in science education	219
8.1.2. A cognitive approach to question generation	221
8.1.3. Hypotheses	223
8.2. Method	226
8.2.1. Participants	226
8.2.2. Materials	227
8.2.3. Variables	228
8.2.4. Procedure	229
8.3. Results and Discussion	231
8.4. Conclusions	236
8.5. References	238
8.6. Appendix I: Experimental devices used	245
8.7. Appendix II: One of the texts used in the experiment, and one of the static images with it	247
CAPÍTULO 9	
Un estudio del contenido científico de las preguntas formuladas por estudiantes cuando intentan comprender dispositivos experimentales	249
9.1. Introducción	253
9.2. Método	255
9.2.1. Participantes	225
9.2.2. Materiales	255
9.2.3. Variables y medidas	257
9.2.4. Procedimiento	258
9.3. Resultados y discusión	259
9.3.1. Preguntas sobre el Diablillo Cartesiano o Ludión	260
9.3.2. Preguntas sobre el Acróbata Trepador	266
9.4. Conclusiones	272
9.5. Referencias bibliográficas	273
CAPÍTULO 10	
Conclusiones generales y problemas abiertos	277
10.1. Cumplimiento de objetivos y conclusiones generales	279
10.2. Problemas abiertos y futuras investigaciones	293

ANEXOS	I.1
Anexo I. Ejemplos de Preguntas, Asociativas, Explicativas e Hipotético - Predictivas	I.3
Ejemplo de Preguntas Asociativas	I.5
Ejemplo de Preguntas Explicativas	I.6
Ejemplo de Preguntas Hipotético - Predictivas	I.7
Anexo II. Algunas Entrevista Realizadas a los Estudiantes en la Validación del Modelo Obstáculo-Meta	II.1
Síntesis de Protocolos Extraídos de las Entrevistas a los Sujetos Participantes	II.3
Anexo III. Instrucciones y Textos con Imágenes Estáticas	III.1
Instrucciones Condición Leer	III.3
Instrucciones Condición Visionar DVD	III.4
Instrucciones Condición Observar y Manipular	III.5
Instrucciones Condición Leer y Observar Imágenes Estáticas	III.6
Instrucciones Condición Explicar	III.7
Textos con Imágenes Estáticas	III.9

CAPÍTULO 1

Planteamiento del problema de Investigación

1.1.-Introducción

Los desalentadores resultados en las pruebas internacionales sobre evaluación de estudiantes en ciencias y matemáticas, alertan sobre las graves dificultades en las que se encuentra la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en muchos países. Informes como *“La educación en ciencias hoy: una renovación pedagógica para el futuro de Europa”* (Rocard, 2007) advierten que el desinterés en la educación en ciencia es debido, entre otras cosas, a la forma como es enseñada, y que es imperativo cambiar la estrategia pedagógica. También Osborne y Dillon (2008), en su informe sobre el estado de la educación en Europa advierten sobre el colapso de la educación científica si no se toman medidas urgentes. En el mismo sentido, pero de una forma más global se ha pronunciado la UNESCO respecto a la importancia de generar nuevas condiciones para la educación científica, con miras a resolver los problemas que la humanidad ha de enfrentar de forma inmediata (UNESCO, 2000). No obstante, la relevancia de estos informes ha venido siendo denunciada por miembros de la comunidad científica (ver por ejemplo, Abell, y Lederman, 2007; Gabel, 1994; Fraser, y Tobin, 1998). Para intentar paliar el problema de la escasa cultura científica en los países desarrollados se han promovido diferentes acciones. Dos de las más importantes son la inserción de materias de alfabetización científica en los sistemas educativos y el desarrollo de la educación no-formal en museos de ciencia interactivos. Las materias de alfabetización científica deben contemplar la inserción del conocimiento científico en la vida diaria de los ciudadanos, de modo que el conocimiento declarativo se convierta en conocimiento útil en sociedad. Para ello, es necesario el desarrollo de competencias como la capacidad para la duda sistemática (pensamiento crítico y escéptico), la argumentación científica para sustentar conclusiones y decisiones (Jiménez-Aleixandre y Díaz, 2003; Solbes, Ruiz y Furió, 2010), el conocimiento sobre y manejo de instrumentos y dispositivos que la tecnología nos brinda, la formulación de preguntas adecuadas sobre la naturaleza y sobre los usos humanos de la ciencia, etc. Todas estas competencias, en conjunto, forman parte del rol de un investigador y pueden desarrollarse proponiendo proyectos de investigación a los estudiantes que les hagan asumir el rol de un investigador novato (Gil, Carrascosa, Furió y Martínez-Torregrosa, 1991). En muchos de los proyectos que pueden plantearse, será necesario el uso de dispositivos científicos.

En el contexto de la educación no formal, los museos interactivos proponen que las personas se enfrenten a dispositivos cuyo funcionamiento está basado en algunos de los principios o leyes fundamentales de las ciencias. Se espera que su funcionamiento capte la atención de las personas mostrando sucesos atractivos o sorprendentes, de modo que se active en el observador el deseo de darle explicación. El análisis científico y controlado de los procesos de aprendizaje en este tipo de situaciones es aún muy reciente. Se abre, por tanto, un campo amplio de análisis que conviene explorar.

El proyecto de investigación que proponemos se sitúa en el análisis de 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 de todo el mundo.

1.2.-Preguntas de investigación y objetivos de esta tesis

La pregunta general de investigación que origina este trabajo puede formularse así:

¿Cuáles son las ventajas didácticas de los dispositivos científicos usados en laboratorios escolares y en museos de ciencia interactivos, para el aprendizaje de las ciencias?

Ya que la construcción de conocimiento científico comienza con una buena pregunta, de todos los aspectos que es posible estudiar, nos concentraremos en investigar el modo en que las situaciones didácticas en las que intervienen dispositivos experimentales, desarrollan la capacidad de formularse preguntas destinadas a comprender la ciencia.

De aquella pregunta general se deriva, pues, nuestra pregunta de investigación específica:

¿Cuáles son los mecanismos cognitivos y metacognitivos implicados en la generación de preguntas destinadas a comprender el funcionamiento de los dispositivos científicos experimentales?

Consideraremos la situación de aula muy habitual, en donde se lee sobre dispositivos, y la compararemos con situaciones en las que se visualiza el funcionamiento

de los dispositivos, y con situaciones en las que se manipulan esos dispositivos, como en los laboratorios escolares y en los museos interactivos.

Si en realidad existen ventajas didácticas del uso de los dispositivos en situaciones de laboratorio y en museos interactivos, ¿de qué modo se podrían aprovechar para el aprendizaje profundo de las ciencias experimentales? Las ventajas didácticas, en caso de que existieran, tendrían que estar en consonancia con el hecho contrastado de que un aprendizaje adecuado de las ciencias requiere comprensión. La generación de preguntas para obtener información es uno de los procesos que indican un proceso mental, interno en los estudiantes, de comprender una determinada información (Ishiwa, Otero y Sanjosé, 2009). Si se logra comprender de qué modo opera el sistema cognitivo humano para plantear una pregunta, podríamos diseñar procedimientos instruccionales que las estimularan de un modo planificado dentro de una secuencia de aprendizaje. Por tanto, estimular la generación de preguntas destinadas a obtener información (ISQ) podría ser un elemento inicial para la mejora de la didáctica de las ciencias experimentales.

Estudiaremos la generación de preguntas de acuerdo con un modelo particular con fundamento cognitivo: el modelo obstáculo-meta (Otero, 2009). Según este modelo (que presentamos en la sección de Fundamentos Teóricos), las preguntas se originan como consecuencia de un proceso de regulación cuando el estudiante detecta un problema de comprensión. Los problemas auto-detectados de comprensión se conceptualizan como obstáculos encontrados por el sujeto en su camino hacia la meta que él mismo se ha planteado, consciente o inconscientemente: la elaboración de una determinada representación mental de la información (Ishiwa, Sanjosé y Otero, 2012). En el caso de la comprensión de las ciencias, parece claro que los problemas de comprensión más frecuentes están asociados con inferencias intentadas pero fallidas que los estudiantes acometen para relacionar la información suministrada con su conocimiento previo, o con otra parte de esa misma información (Otero y Graesser, 2001; Graesser y Bertus, 1998) Si esto es cierto, la tipología de preguntas de comprensión formuladas por los estudiantes debería poder asociarse fácilmente con una tipología de inferencias.

Dado que el modelo predice que las preguntas se originan por los problemas de comprensión del estudiante, las posibilidades de comprensión que diferentes formatos de presentación de la información brindan, deberían producir diferencias en las preguntas

generadas por los estudiantes. Este modelo ha sido recientemente validado para información exclusivamente textual (en la que no intervienen dispositivos científicos, ni siquiera en imágenes estáticas) pero todavía no ha sido validado en situaciones en las que la información científica se presenta en otros formatos distintos, como por ejemplo, textos + imágenes estáticas; imágenes dinámicas (como videos); la propia realidad como la de museos y laboratorios en donde el estudiante puede observar pero también manipular los dispositivos experimentales.

Por tanto, los objetivos que nos planteamos son:

Objetivo General:

Estudiar el proceso de generación de preguntas destinadas a obtener información, como elemento esencial de la actividad científica para la construcción de nuevo conocimiento. Analizar los factores cognitivos, metacognitivos y contextuales que favorecen o dificultan la formulación de preguntas de distinta naturaleza.

Se trata de estudiar la influencia particular de factores asociados con las diferencias individuales en la generación y formulación de preguntas que buscan información. Uno de los factores que presenta una variabilidad importante dentro de la población estudiantil de educación secundaria es el control de la comprensión (Fernández-Rivera, 2008). Muchos de los estudiantes de secundaria no son capaces de evaluar apropiadamente su habilidad para comprender el material (Otero, 2002). Los estudiantes que “no saben que no saben”, no pueden detectar problemas o contradicciones y no realizan preguntas (Graesser, Olde, Pomeroy, Witten, Lu y Graig, 2005). Otra variable importante es el conocimiento previo, que debe influir en la relación entre la pregunta formulada y el nivel de representación mental que se intenta construir. Es de esperar que un conocimiento previo alto produzca más preguntas relacionadas con el Modelo Científico y que un conocimiento previo bajo produzca más preguntas asociadas con el Modelo de la Situación. Finalmente, se ha probado que las metas con las que se ejecutan determinadas tareas de aprendizaje influyen en las preguntas que los estudiantes formulan (Ishiwa, Otero y Sanjosé, 2007): diferentes metas de aprendizaje implican diferentes modelos mentales intentados. El modelo teórico utilizado en esta parte de la investigación será el propuesto por Otero y colaboradores, basados en la hipótesis Obstáculo-Meta, antes mencionado.

Objetivos Específicos:

1.- *Validar un procedimiento para estimular la generación de preguntas por parte de los estudiantes*

2.- *Clasificar las preguntas de los estudiantes ante dispositivos experimentales, a partir de una taxonomía teóricamente fundamentada en la realización de inferencias.*

3.- *Validar empíricamente el modelo Obstáculo-Meta sobre generación de preguntas, para información científica no textual, asociada con dispositivos experimentales.*

4.- *Estudiar el modo en que diferentes formatos de presentación de información científica, asociados con diferentes usos educativos de los dispositivos experimentales, causan diferencias en las preguntas de comprensión generadas por los estudiantes.*

5.- *Estudiar el modo en que el nivel de conocimiento específico en ciencias afecta la formulación de preguntas sobre el funcionamiento de los dispositivos experimentales.*

6.- *Analizar el contenido científico de las preguntas formuladas por los estudiantes en situaciones que implican dispositivos experimentales.*

1.3.-Oportunidad e interés de la investigación

Habría un consenso ‘didáctico’ sobre la importancia de preguntar para el aprendizaje profundo de los contenidos (Flammer, 1981; Dillon, 1988; van der Meij, 1994). Hay varias razones esgrimidas para justificar esta importancia otorgada a las preguntas. La más frecuente es que las preguntas promueven el aprendizaje activo y la construcción del conocimiento, tanto a nivel personal como social. Todo proceso para construir nuevo conocimiento en la investigación científica comienza con “una buena pregunta”. Por tanto, si se pretende que la enseñanza de las ciencias sea un proceso cognitiva y epistémicamente concordante con las actividades que realizan los científicos (Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., Furio, C. y Martínez-Torregrosa, 1991; Chinn y Malhotra, 2002; Hofer y Pintrich, 1997), es importante estimular las preguntas de los estudiantes en las aulas de ciencias. Estudiar

las condiciones particulares en que las preguntas de alto nivel cognitivo son producidas es una línea de investigación a desarrollar y en ella nos situamos en esta tesis.

Se acepta, por tanto, que las preguntas en el aula son deseables y están relacionadas con la comprensión y el aprendizaje de las ciencias. En efecto, varios estudios demuestran que si se entrena a los estudiantes para que hagan preguntas, se mejora la comprensión, el aprendizaje y la memoria (Craig et al., 2000; Ciardello, 1998; Rosenshine, Meister y Chapman, 1996; King, 1994, 1992, 1989; Palincsar y Brown, 1984; Singer y Donlan, 1982). A pesar del efecto importante de realizar preguntas, los estudiantes formulan muy pocas preguntas en situaciones normales de clase. Graesser y Person (1994) calcularon la frecuencia de preguntas de los estudiantes desde Jardín de Infancia hasta 12º grado y encontraron un valor promedio de 0,17 preguntas por estudiante y por hora de clase, lo que supone que el alumno típico necesita 6-7 horas de clase para formular una pregunta. Este pobre resultado ha sido encontrado en otros estudios (Dillon, 1988; Good, Slavings, Harel y Emerson, 1987). Además, el nivel cognitivo asociado con la mayoría de las preguntas de los estudiantes es bajo (Dillon, 1988; Pedrosa de Jesús y Maskill, 1990).

Sin embargo, en situaciones no usuales, en las que se instruye a los estudiantes para que hagan preguntas o en las que se utilizan materiales instruccionales diseñados para ello, o simplemente se les insta a que lo hagan, los estudiantes pueden realizar muchas preguntas (Roca, 2007). Graesser y Pearson (1994) encontraron 26,5 preguntas por estudiante y hora en tutorías individuales, aunque muy pocas de ellas reflejaban un intento de comprensión ‘profunda’ del contenido. Costa, Caldeira, Gallástegui y Otero (2000) encontraron promedios entre 3 y 4 preguntas por alumno en un tiempo inferior a una hora, en un estudio sobre preguntas formuladas ante un texto de ciencias a nivel escolar.

Es decir, los alumnos son capaces de hacer preguntas pero no las formulan en situaciones de clase normales. ¿Por qué sucede esto?

Una primera razón es que hacer buenas preguntas, (en el sentido de preguntas asociadas con procesamiento profundo del contenido), no es bien recompensado por los profesores (Alexander, Jetton, Kulilowich y Woehler, 1994). En los centros educativos se da poca importancia a la capacidad de preguntar. En el sistema educativo están mucho más desarrollados los métodos para valorar la calidad de las respuestas, que los métodos que

valoran la calidad de las preguntas. En efecto, algunos estudios muestran una relación entre baja y moderada entre el rendimiento académico y las destrezas de control de la comprensión (Otero, Campanario y Hopkins, 1992; Campanario, García-Arista, Otero, Patricio, Costa, Prata Pina, Caldeira y Thomaz, 1994). Esta relación pobre (aunque significativa) se interpreta como que los instrumentos de evaluación usados por los profesores dan poco peso a las habilidades de control de la comprensión, muy relacionadas con la formulación de preguntas.

La escasez de preguntas de los alumnos en clase puede ser justificada también mediante mecanismos socio-afectivos. La motivación o la autoestima de un estudiante influyen en la fase de edición social de las preguntas. Karabenick (1996) encontró que los estudiantes juzgan la comprensión propia y ajena a través de las preguntas realizadas por los compañeros de clase. Por tanto, la vergüenza o el deseo de no “destacar” ante el grupo pueden inhibir la formulación explícita de preguntas.

Finalmente, la escasez en la formación de preguntas por parte de los estudiantes pueden deberse a un escaso desarrollo de una destreza metacognitiva llamada el control de la propia comprensión, destreza implicada en los fundamentos de la génesis de preguntas que buscan información (Otero, 2009). Para formular una pregunta destinada a obtener información, es necesario que el propio sujeto detecte un problema de comprensión y decida preguntar. Un déficit de esta destreza metacognitiva puede hacer imposible que una persona se dé cuenta de que no entiende, o crea que entiende lo que no comprende realmente. Se han encontrado niveles preocupantemente bajos de control de la propia comprensión en alumnos de los últimos cursos de educación secundaria, en tareas de detectar anomalías en textos (Fernández-Rivera, Sanjosé y Otero, 2007; Otero y Campanario, 1990; Baker, 1979; Marckman, 1979) y en tareas de calibración de la comprensión (Glenberg y Epstein, 1985).

Wang, Heartel y Walberg (1993), en un meta-estudio amplio, encontraron que las destrezas metacognitivas eran uno de los mejores predictores del rendimiento académico, por encima de variables didácticas y socioculturales. Si se tiene un deficiente desarrollo del control de la comprensión, pueden aparecer muchas dificultades en la comprensión y aprendizaje de las ciencias (Campanario y Otero, 2000). Por tanto, es conveniente destinar recursos didácticos al desarrollo de esta destreza metacognitiva. Uno de los modos de

hacerlo es estimular la formulación de preguntas: «() *la formulación de preguntas representa uno de los primeros medios mediante los cuales los individuos son capaces de avanzar en su propia comprensión y, como tal, representa una poderosa actividad metacognitiva*» (Gavelek y Raphael, 1985, p. 114).

En resumen, la incompreensión es un fenómeno interno del sujeto y no puede ser directamente estudiado. Por tanto necesitamos consecuencias observables de estos procesos internos. Una de esas consecuencias es la generación de preguntas que el sujeto formula con el fin de obtener información (*Information Seeking Questions*, o ISQ's). La generación de preguntas para obtener información es un modo de regular el propio comportamiento a partir de la conciencia de incompreensión, que, a su vez, depende del control de la comprensión del sujeto, como se ha dicho antes

Algunos modelos didácticos, como *Inquiry teaching* (Anderson, 2002) o *Aprendiz como científico novato* (Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., Furio, C. y Martínez-Torregrosa, 1991), o el *Aprendizaje Basado en Problemas* aplicado a las ciencias (Solaz-Portolés, Sanjosé y Gómez, 2011) proponen la realización de proyectos experimentales en los que los estudiantes puedan manipular libremente dispositivos experimentales para generar y desarrollar competencias científicas. Este trabajo práctico aporta beneficios educativos. En primer lugar, el trabajo práctico facilita modelar la realidad a partir de la ciencia (Truyol y Gangoso, 2012). En segundo lugar, el trabajo experimental permite el desarrollo de competencias procedimentales, del orden de técnicas de medida, control de variables o relacionar los valores numéricos obtenidos con el mundo real. En tercer lugar, las situaciones experimentales en el laboratorio escolar pueden usarse para situar a los estudiantes tan cerca como sea posible del trabajo de los científicos (Chinn y Malhotra, 2002).

En suma, resulta de interés estudiar el modo en que pueden generarse y estimularse las preguntas de los estudiantes cuando tratan de comprender la información científica asociada con dispositivos experimentales. Existen antecedentes de interés en este campo de investigación. Estudiantes instruidos en situaciones de indagación aprenden a formular más y mejores preguntas que estudiantes en otras situaciones de aprendizaje (Hartford y Good, 1982; Cuccio-Schirripa y Steiner, 2000). Greasser y Olde (2003) investigaron el rol del conocimiento previo en la generación de preguntas. Sujetos con diferentes niveles de

experiencia se enfrentaron a dispositivos estropeados. Se les pidió que formularan preguntas de modo que sus respuestas les proporcionaran la información necesaria para repararlos. Graesser y Olde (opus cit) encontraron que los sujetos con mayor nivel de experiencia (conocimiento específico) formularon mayor número de preguntas apropiadas para reparar los dispositivos.

Sin embargo, hasta donde nuestro conocimiento llega, ninguno de esos trabajos investigó la génesis de las preguntas en las mismas condiciones que nosotros consideramos, ni con el mismo modelo teórico de base.

Toda nuestra investigación se realiza en el contexto de la didáctica de las ciencias experimentales y, por tanto, tiene como última meta el procurar un mejor aprendizaje de la ciencia por parte de nuestros estudiantes y de los ciudadanos en general. El trabajo que se desarrolla aquí se sustenta en la suposición de que desvelar los fundamentos cognitivos del aprendizaje humano puede servir para diseñar protocolos de actuación didácticos y educativos cada vez más efectivos, superadores de los problemas detectados.

1.4.-Enfoque y limitaciones de esta investigación

El enfoque de esta investigación es el de la psico-didáctica. Ello implica que nuestro propósito final es sustanciar una propuesta didáctica futura que se fundamente en regularidades del comportamiento humano, y no en opiniones, ideologías, o tendencias políticas. En nuestro caso, tales regularidades del comportamiento humano, si es que las hay, se refieren al sistema cognitivo de procesamiento de la información. El axioma que asumimos, pues, es que la condición humana supone modos específicos de capturar, procesar e interpretar la información circundante, y que esos modos no son ilimitados. Con independencia de las diferencias individuales, debe ser posible encontrar patrones en este comportamiento y, por tanto, usar ese conocimiento general para tratar de facilitar el aprendizaje (de las ciencias) de las personas en pos del bien común.

Esta toma de posición o enfoque de la investigación implica ciertas limitaciones que es preciso señalar. En primer lugar, la profundidad con la que pretendemos estudiar los mecanismos cognitivos que originan las preguntas sobre dispositivos científicos nos harán

simplificar las situaciones habituales en las que se produce el aprendizaje y la enseñanza. En lugar de una inmersión en contextos naturales educativos, buscaremos más bien situaciones controladas o ‘de laboratorio’. Por tanto, factores importantes en el aprendizaje, presentes en condiciones usuales, o naturales, no serán considerados, con la consiguiente pérdida de información. Estas simplificaciones afectan, entre otras, a las contribuciones que proceden: del trabajo cooperativo, de la interacción profesor-alumnos, de la motivación de logro, de contenidos más o menos motivadores que los elegidos, etc. Tampoco se considerarán aspectos epistemológicos (para estudiar, por ejemplo, los modos en que las preguntas se relacionan y/o podrían ayudar a construir el conocimiento) o la historia de la ciencia (para estudiar de qué modo ciertas preguntas se han planteado en la historia del conocimiento, y los modos en que se han tratado de responder).

Con las herramientas teóricas y metodológicas actuales, no nos sentimos capaces de abordar los problemas educativos en toda su complejidad con un mínimo de rigor. Por tanto, una vez asumido el enfoque antedicho, las simplificaciones son una condición necesaria para abordar los objetivos planteados. Aunque la pérdida de información puede ser importante, es preciso recordar también que la ciencia ha avanzado gracias a la capacidad de algunos sabios para prescindir de elementos del contexto que, estando presentes y siendo relevantes, hubieran impedido encontrar las leyes que se construyeron (por ejemplo, salvando las distancias, Galileo y Newton prescindieron de un elemento presente en todo momento como es el aire, y de un efecto importante como es el rozamiento, para encontrar las leyes del movimiento que se han revelado muy útiles!!).

1.5.-Estructura lógica de la investigación y organización de esta memoria

El trabajo realizado y la comprensión lógica del mismo aconsejan organizar esta memoria en dos grandes partes. En la primera parte expondremos la *Fundamentación Teórica* en la que se apoya todo nuestro trabajo para pasar, en la segunda parte, a exponer los distintos *Estudios Empíricos* realizados, destinados a alcanzar los objetivos de investigación planteados antes.

Los diferentes objetivos específicos planteados (sección 1.1) originaron distintos estudios empíricos recogidos en esta tesis como capítulos diferentes. Cada uno de ellos ha sido sometido al juicio de la comunidad científica con la confianza de que la única ciencia válida es la que se comparte y se acepta por quienes son expertos, y son ellos, los expertos, quienes pueden proporcionar el mejor aval del valor de nuestro trabajo. Se presentan nuestros resultados con el ánimo de aportar o si se quiere, mostrar una pequeña luz en ese océano de oscuridad que aún acompaña la comprensión de la comprensión humana (y no es una redundancia).

El primero de los estudios empíricos (Torres, Duque, Ishiwa, et al., 2012), recogido en el capítulo 5 de esta memoria, se dedicó a dos objetivos: 1) validar el procedimiento de generación de preguntas ante dispositivos experimentales de ciencias; 2) validar una taxonomía para las preguntas procedente de la literatura especializada en inferencias. Un procedimiento muy similar al que propondremos, y también la misma taxonomía de preguntas ya han sido utilizados en experimentos con estudiantes en situaciones en las que la información se presenta únicamente en formato textual (Ishiwa, Sanjosé y Otero, 2012), pero no se habían validado para información científica no textual.

El segundo estudio (Torres y Sanjosé, 2013) tuvo como objetivo validar empíricamente el modelo Obstáculo-Meta sobre generación de preguntas, para información científica no textual, asociada con dispositivos experimentales. Además, se validó también un procedimiento experimental según el cual, asignar a los sujetos diferentes tareas (tareas que requieren distintos recursos cognitivos) les induce a elaborar distintas representaciones mentales para comprender el contenido. Ello puede verse en el capítulo 6 de esta memoria

Estudiar el modo en que diferentes formatos de presentación de información científica, asociados con diferentes usos educativos de los dispositivos experimentales, causan diferencias en las preguntas de comprensión generadas por los estudiantes, fue el principal objetivo del tercer estudio empírico (Torres, Soto y Sanjosé, 2013), mostrado en el capítulo 8 de esta tesis. Estos resultados fueron replicados en un estudio posterior (Torres, Milicic, Soto y Sanjosé, 2013), en el que también se introdujeron mejoras metodológicas para reducir la varianza de error, y que se presenta en el capítulo 8. En este estudio se consideró una condición experimental nueva (lectura de texto + imágenes

estáticas sobre dispositivos) y se analizó el efecto del conocimiento previo sobre ciencias en la formulación de preguntas.

En el último trabajo (Torres, Milicic y Sanjosé, 2013) concentramos la atención en el contenido científico concreto que se menciona en las preguntas formuladas por estudiantes de secundaria y universitarios en distintas condiciones experimentales asociadas con diferentes formatos de presentación de los dispositivos. Este trabajo descriptivo se recoge en el capítulo 9.

Finalmente, se reúnen las distintas aportaciones, se resumen y se relacionan entre sí para elaborar las conclusiones globales de esta tesis doctoral y definir los problemas abiertos y las perspectivas de futuro para esta investigación.

FUNDAMENTACIÓN

TEÓRICA

CAPÍTULO 2

Los Dispositivos Experimentales
en el Aprendizaje de las Ciencias

2.1. Introducción

Los profesores están de acuerdo en la importancia del trabajo experimental en la educación científica, porque proporciona oportunidades para desarrollar competencias importantes en los estudiantes. En primer lugar, el trabajo práctico facilita modelizar la realidad con la ciencia (Truyol y Gangoso, 2012). En segundo lugar, las situaciones experimentales en el Laboratorio escolar pueden ser usadas para situar el trabajo de los estudiantes cerca del trabajo de los científicos (Gil, 1986; Chinn y Malhotra, 2002). En tercer lugar, el trabajo experimental permite el desarrollo de competencias procedimentales tales como el uso de técnicas de medida, el control de variables y relacionar los cálculos numéricos con el mundo real. Debido a sus beneficios educativos, las actividades experimentales en educación científica son un foco permanente de interés en muchos países (Hofstein y Kind, 2012, Martínez Torregrosa y colaboradores, 2012, Abrahams y Reiss, 2012, Allen, 2012; Toplis y Allen; 2012; Šorgo Špernjak, 2012; Kennedy, 2012; Kidman, 2012; Mamlok-Naaman Barnea, 2012; di Fuccia, Witteck, Markic Eilks, 2012)

Los dispositivos experimentales se usan de distintos modos en educación científica (Trumper, 2003; Holstein y Lunetta, 2004; Barolli, Luburu y Guridi, 2010). Esta diversidad de usos es debida, entre otros factores, a la variedad de concepciones que los profesores tienen sobre qué es “la ciencia” y qué es “aprender ciencias” (Lederman, 1999). De hecho, los estudiantes se encuentran con dispositivos experimentales durante su educación científica, aunque no siempre en situaciones de laboratorio. Los dispositivos experimentales aparecen en los libros de texto y se usan también en demostraciones de cátedra. Hay al menos tres situaciones diferentes de enseñanza que involucran dispositivos experimentales: a) Leer acerca del funcionamiento de dispositivos experimentales en los libros de texto, usualmente con la ayuda de imágenes estáticas o diagramas; b) Observar el funcionamiento de los dispositivos en demostraciones de cátedra o en películas especializadas; c) Manipular dispositivos experimentales en un proyecto de tipo experimental de laboratorio.

Leer sobre dispositivos u observar su funcionamiento en demostraciones son situaciones muy frecuentes en la enseñanza de las ciencias, pero en esas dos situaciones los estudiantes no están realmente involucrados en un trabajo experimental. Ambas situaciones

son típicas del paradigma de aprendizaje por recepción de conocimientos elaborados (Novak, 1979). Los proyectos experimentales, en los que los estudiantes pueden manipular libremente los dispositivos, se utilizan en otras concepciones del aprendizaje, como es el caso de la propuesta de Gil y colaboradores (1999) y, en la propuesta conocida como *Inquiry Learning* (Anderson, 2002).

Inquiry Learning se ha definido como el proceso educativo en el que los estudiantes se involucran en la comprensión de conceptos, formulan preguntas, se plantean problemas y elaboran respuestas y soluciones (Gunstone y Mitchell, 1998). De acuerdo con Schraw, Crippen, y Hartley (2006, p 118), *inquiry teaching* desarrolla la capacidad de autorregulación (control de la propia comprensión) ya que los estudiantes han de activar en sus actividades de investigación “*estrategias cognitivas y metacognitivas para monitorizar su comprensión () tales como predecir-observar-explicar (Windschitl, 2002) o formulación de preguntas (Chin and Brown, 2002)*”..

Así pues, en una concepción del aprendizaje de las ciencias de base constructivista, en el cual el aprendizaje efectivo de las ciencias está ligado fuertemente al modo en que el conocimiento científico se construye, el trabajo práctico experimental es una fuente de oportunidades para el desarrollo de competencias científicas tales como: formulación de preguntas relevantes, emisión de hipótesis, diseño de experimentos, explicación de fenómenos, argumentación, predicción de nuevos fenómenos, generalizaciones, transferencias, etc. que la enseñanza tradicional (transmisiva) suele obviar.

En este capítulo realizamos una revisión de algunos estudios que se han realizado sobre el uso, la importancia, las aportaciones, las finalidades del trabajo práctico experimental en la enseñanza de las ciencias.

2.2. Conceptualización del trabajo práctico en la educación científica

La investigación experimental es un camino básico para informarse acerca de las leyes de la naturaleza. La experimentación se compone de ensayo y error; hace coincidir o no nuestras construcciones o representaciones mentales con la naturaleza; da importancia a

los detalles básicos y prácticos de encontrar información; y valora en sí el hecho del descubrimiento. Aunque no hay un consenso para definir el trabajo práctico, sí lo hay sobre la necesidad de que los estudiantes observen y manipulen la realidad desde la perspectiva y conocimiento de la ciencia.

Se ha entendido por actividades experimentales “() *los procesos de enseñanza-aprendizaje que hacen participar a los estudiantes en la observación o manipulación de objetos materiales, desarrollando procesos de reflexión y análisis en torno a la resolución de un problema*” (Seré, et.al., 1998, p. 23). Esto incluye identificar variables, emitir hipótesis, diseñar una metodología, interpretar datos, y evaluar resultados y métodos. En general, abarcan:

1.- Los tipos de actividades de aprendizaje en las ciencias que involucran a los estudiantes en el hacer, o ver a otra persona hacer, una tarea práctica ya sea en un laboratorio, en el campo o en otro lugar, como, por ejemplo, en contextos multimedia.

2.- Las actividades de aprendizaje que preparan a los estudiantes en algún aspecto específico de las tareas prácticas.

Sin embargo, son un tanto arbitrarios los límites entre el trabajo de laboratorio–reconocido como un distintivo tipo de actividad de enseñanza-aprendizaje de la ciencia– y otras estrategias con la misma intención. No hay unidad terminológica y por ello se presentan confusiones para la identificación de las condiciones en que deben ser llevadas a cabo y para reconocer los tipos de competencias que pueden desarrollar los estudiantes en ellas.

Variadas son las definiciones de trabajo práctico que se han ofrecido:

“() *experiencias de aprendizaje en las cuales los estudiantes interactúan con materiales o fuentes secundarias de datos para observar y comprender el mundo natural (por ejemplo: fotografías aéreas para examinar las características de la Luna y de la geografía de la Tierra; espectros para analizar la naturaleza de las estrellas y las atmósferas, imágenes de sonar para examinar los sistemas vivos* ” (Lunetta, Hofstein, Clough, 2007, p. 394).

Por su parte, The Royal Society considera que. “() *el trabajo práctico en ciencia se usa como sinónimo para el programa completo de actividades experimentales y de investigación (incluyendo trabajo de campo) llevadas a cabo como parte de la educación científica en las escuelas y colegios*”(House of Lords, 2006, p. 63)

Singer, Hilton y Schweingruber (2005, p. 3) contempla la siguiente definición: “() *la investigación en el laboratorio escolar () se define como una experiencia en el laboratorio, en el aula o en el campo, que proporciona a los alumnos oportunidades para interactuar directamente con los fenómenos naturales o con los datos registrados por otros, empleando herramientas y materiales específicos, técnicas de recogida de datos y modelos*”. Esta definición implica la interacción del estudiante con conjuntos de datos derivados directamente del mundo natural, como bases de datos astronómicas, bases de datos del genoma, de eventos climáticos durante largos períodos de tiempo, etc.

Para Hodson (1994, p.305) el trabajo práctico sería “() *cualquier método de aprendizaje que exija a los alumnos que sean activos en lugar de pasivos, de acuerdo con la idea de que los estudiantes aprenden mejor a través de la experiencia directa*”.

Tobin (1990, p. 405) considera que: “*Las actividades de laboratorio interesan como una manera de permitir a los estudiantes aprender con comprensión y, al mismo tiempo, involucrase en un proceso de construcción del conocimiento haciendo ciencia*”.

Por su parte López (2008, p. 17), considera que “() *aunque no existe una definición consensuada, bajo la denominación de trabajo práctico se suelen incluir actividades realizadas por los alumnos en las que éstos tengan que desarrollar destrezas manipulativas o intelectuales para solucionar algún tipo de problema o para explorar el medio natural. La mencionada falta de consenso alcanza incluso a la propia denominación de unas actividades que aparecen recogidas en la investigación didáctica, indistintamente, como trabajo experimental, investigación escolar o actividades prácticas, aunque quizás sea la denominación de trabajo práctico la más utilizada*” .

El término ‘trabajo práctico’ puede comprender cualquier actividad emprendida en el aula o en el laboratorio utilizando especímenes, aparatos, modelos o materiales biológicos, científicos, químicos, y otras posibilidades no-teóricas. Puede ser una actividad o un

conjunto de actividades realizadas fuera o dentro del aula en las que los estudiantes son actores principales de su aprendizaje (García-Martínez, Devia y Díaz-Granados, 2003). Aunque son planificadas por el profesor, varían la orientación durante su desarrollo, según los objetivos y el tipo de trabajo. En algunos casos, el *trabajo práctico* se emplea para confirmar, comprobar o contrastar la teoría; en otros, se parte del mismo para motivar el inicio de esta última; y en otros, se realiza como un proceso paralelo y combinado, contrastando los *trabajos prácticos* con la teoría (García-Martínez, Devia y Díaz-Granados, 2003).

Sólo una parte de los trabajos de laboratorio serán de tipo experimental, y solamente algunos de estos serán *investigaciones experimentales*; otras, de campo o laboratorio, serán experimentales pero no de investigación (Leite y Figueiroa, 2004). La razón es que, el trabajo experimental incluye cualquier actividad en donde se realiza un control y manipulación de variables (Hodson, 1994). Además, se desarrollan procesos que son fruto de una fase de reflexión y análisis en torno a la resolución de un problema que implica experimentación. Esto incluye, por supuesto, la identificación de variables, emisión de hipótesis (que son las que permiten operacionalizar dicho proceso), diseñar una metodología, interpretar datos y evaluar los resultados y métodos, convirtiéndose en una actividad investigativa (Verdú, Martínez-Torregrosa, y Osuna, 2002; De Jong, 1998). Para Leite y Figueiroa (2004), las investigaciones son actividades en las que se resuelven problemas abiertos (Woolnough y Allsop, 1985) que pueden llevarse a cabo mediante equipamiento de laboratorio (investigaciones de laboratorio), de campo (investigaciones de campo) o mediante el uso de otros recursos (por ejemplo, ordenador, biblioteca, etc.).

Las *actividades de laboratorio* son uno de los tipos más frecuentes de *trabajos prácticos*. Implican la utilización de material de laboratorio para reproducir un hecho o fenómeno, o para analizar una parte del mundo natural. Los *trabajos de laboratorio* son distintos de las *investigaciones*, en las que se resuelven problemas abiertos mediante equipamiento de laboratorio, de campo o con el uso de otros recursos como el ordenador o la biblioteca. Por eso pueden ser o no de tipo experimental.

En el trabajo práctico los estudiantes son los actores principales de su aprendizaje. Aunque las actividades son planificadas por el profesor, varía la orientación durante su desarrollo, según los objetivos y el tipo de trabajo. En algunos casos, el trabajo práctico se

emplea para confirmar, comprobar o contrastar la teoría; en otros, se parte del mismo para motivar el inicio de la teoría; y en otros, se realiza un proceso paralelo y combinado, contrastándolo con la teoría.

En nuestra tesis concebimos los trabajos de laboratorio como un tipo de trabajo práctico o actividad experimental en la que se involucran dispositivos que muestran determinados fenómenos de la naturaleza con finalidad educativa.

2.3. Evolución histórica y epistemológica de los trabajos prácticos en la enseñanza de las ciencias.

El trabajo práctico y, en particular el laboratorio de ciencia escolar, han cumplido funciones distintas en el aprendizaje del conocimiento científico y en la formación del pensamiento científico en general, en función de cuál ha sido la concepción de la ciencia y de su enseñanza en los distintos momentos de la historia de la educación. A pesar de esta variedad de usos didácticos, siempre ha sido considerado una parte de la formación de los alumnos y, por ello, ha sido amplia y exhaustivamente investigado en muchos de los trabajos especializados y tesis doctorales publicados en todo el mundo (Hofstein y Lunetta 1982, 2004; Lazarowitz y Tamir, 1994; Lunetta, Hofstein, y Clough, 2007).

Las concepciones epistemológicas aluden a la naturaleza de la ciencia (qué es la ciencia y qué no lo es) y a cómo se construye el conocimiento científico. Una de las posturas epistemológicas más antiguas en educación científica, pero también de las más extendidas entre los profesores de ciencias, es que el conocimiento científico “nace” (se adquiere) de la observación y la experimentación. Esta concepción recuerda al Empirismo filosófico de Bacon y Hume según el cual el conocimiento se crea a partir de la experiencia sensorial. Dentro de esta postura epistemológica, el trabajo práctico adquiere una importancia grande ya que sólo la manipulación de la naturaleza puede crear el auténtico conocimiento científico. Sin embargo, y de modo paradójico, la mayoría de profesores que defienden esta concepción, al mismo tiempo programan y realizan muy pocas actividades prácticas y basan su docencia en la transmisión de conocimientos elaborados a través de clases magistrales. Este es hoy en día, el modelo docente más extendido (Vilches y Gil, 2012).

La concepción central del trabajo práctico experimental como fuente del conocimiento científico, basado en el empirismo filosófico, tuvo su continuación en otra corriente educativa estructurada, conocida como Aprendizaje por Descubrimiento (Ausubel, 1978), apoyada en las propuestas psico-educativas de Jerome Bruner y Gagné (Bruner, 1961, 1991; Gané, 1970). Las teorías cognitivas de estos psicólogos llevaron a los didactas a la idea de que la meta principal de la educación era saber resolver problemas (de diversa naturaleza) por uno mismo y, por tanto, el adiestramiento en la “heurística del descubrimiento” era más importante que el adiestramiento en los conceptos de las materias. Todo conocimiento real sobre el mundo debía ser ‘descubierto’ por uno mismo. Es decir, se suponía que el conocimiento formaba parte del mundo exterior a los seres humanos (en lugar de ser un producto construido por la mente humana) y que el aprendizaje consistía en hallar ese conocimiento buscando en los lugares apropiados.

Esta corriente educativa trató de superar la falta real y generalizada de trabajos prácticos en la enseñanza de las ciencias, y la atención casi exclusiva sobre los contenidos conceptuales lo que, obviamente, suponía una práctica incongruente con la concepción empirista de los propios profesores. Quizás porque hacía posible que el pensamiento epistemológico de los profesionales se materializara en propuestas educativas con soporte institucional, el aprendizaje por descubrimiento alcanzó notable aceptación y éxito entre los profesores durante muchos años. En esta postura, se hace mucho hincapié en la actividad autónoma del estudiante llegando a rechazarse la guía de los maestros en el aprendizaje (Ausubel, 1978). Como consecuencia, los trabajos prácticos experimentales en ciencias se convirtieron en meras manipulaciones de dispositivos o de otros materiales educativos, y el desarrollo de los llamados “procesos de la ciencia” pasó a ser el objetivo prioritario de la educación científica, a costa de los “conceptos de la ciencia” (Klainin, 1988; Salas-Cabrera, 1983). Se argumentaba que el dominio de los procesos de la ciencia era un conocimiento más sostenible y perdurable y, por lo tanto, una forma de hacer que los estudiantes se prepararan para los retos de un futuro desconocido (Hofstein y Kind, 2012).

Los procesos de la ciencia fueron definidos como aquellos que forman parte del llamado “Método Científico”, cuya definición como un conjunto de pasos bien estructurados y claramente secuenciados fue asumida en la época. Los trabajos prácticos

fueron diseñados, por tanto, para desarrollar en los estudiantes el conocimiento de cómo observar, cómo realizar un montaje experimental en el laboratorio, cómo medir con distintos instrumentos, cómo tomar nota de los datos, como redactar un informe final interpretando los resultados, etc.

Los resultados de la aplicación sistemática del aprendizaje autónomo en los centros educativos, no obtuvo los resultados esperados. Gil (1983) ha señalado los errores básicos del aprendizaje por descubrimiento autónomo desde una perspectiva actual de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. En primer lugar, la actividad científica es colectiva, en grupos dirigidos por personas expertas que interaccionan con las menos expertas y ayudan a dirigir el trabajo hacia las metas adecuadas. Esta guía supone economizar tiempo y recursos que se perderían en recorrer caminos que otros ya han transitado y que han demostrado ser erróneos. En segundo lugar, esa visión empirista del conocimiento científico “() *deforma la naturaleza de la investigación () convirtiendo los trabajos prácticos en meras manipulaciones () en las que faltan absolutamente () aspectos esenciales como la emisión de hipótesis o el diseño experimental ()*” (Gil, 1983, p 30). Además, como ya señaló Feyerabend (1975) el llamado “método científico” no es realmente un conjunto bien ordenado y secuenciado de pasos a seguir, sino un complejo entramado de intuición, experiencia y sistematización, que produce avances y retrocesos en cada persona y grupo de investigación. El complejo concepto de “rigor” científico está en la base de la investigación científica, pero hay aspectos sociológicos clave en el quehacer científico que son menos fáciles de enseñar y de aprender (Latour y Woolgar, 1995).

Finalmente, Gil (opus cit) señala que se ignoró el papel esencial de los paradigmas y las teorías que estructuran el conocimiento científico en todas sus áreas, proporcionando una razón de ser a los conceptos y las relaciones entre ellos. Había una excesiva concentración en los procedimientos o ‘procesos de la ciencia’ respecto del tiempo que se dedicaba a los aspectos conceptuales (Hurd, 1983; Yager, 1984).

Sin embargo, la Ciencia no consiste en el “descubrimiento de las verdades que la Naturaleza oculta”, sino en una construcción del pensamiento humano en permanente estado de revisión y cambio, y que “traduce” los hechos naturales en “significados” para la mente humana. Por tanto, pensar que un conjunto de actividades manipulativas, por bien diseñadas y adaptadas que estén, puede lograr que los estudiantes puedan, por sí mismos,

llegar a elaborar las interpretaciones, los conceptos y las estructuras que han costado tanto esfuerzo a la humanidad, parece ingenuo. En efecto, en demasiadas ocasiones los alumnos sometidos a los métodos del aprendizaje por descubrimiento autónomo mostraban aprendizajes incidentales, periféricos respecto de lo esperado, o claramente erróneos, fruto de la falta de estructuración mental propia de su nivel de desarrollo conceptual y de la complejidad de la propia ciencia. Los procesos de razonamiento inductivo que se exigían para llegar al conocimiento científico a partir de experiencias particulares, no estaban al alcance de la mayoría de los estudiantes.

Lo que sí se logró en este período fue establecer una posición crítica respecto del cambio que se debía producir en las prácticas de laboratorio y trabajos prácticos habituales. Una de esas posiciones reivindicó la importancia del aprendizaje por recepción mediado por el lenguaje, siguiendo la teoría ausubeliana del aprendizaje significativo (que tratamos después). Otra posición trató de revivir la importancia del trabajo práctico en la educación científica sobre nuevos supuestos epistemológicos ligados al constructivismo (Hofstein y Kind, 2012; González de la Barrera, 2003). Un ejemplo de los cambios sugeridos lo proporciona el trabajo de Payá (1991) quien, tras un análisis didáctico, epistemológico y metodológico de los trabajos prácticos, concluyó que es conveniente plantear los trabajos prácticos cuando surja su necesidad en el proceso de construcción de conocimientos, esto es: a partir de una situación problematizada y, en general, con el fin de contrastar unas determinadas hipótesis, superando la tendencia habitual de plantearlos al final de los temas como simples ilustraciones de conocimientos teóricos ya dados, o bien como punto de partida con la pretensión ingenua de que los alumnos a partir de los datos obtenidos en el laboratorio induzcan los conocimientos.

La teoría del Aprendizaje Significativo, propuesta por Ausubel y colaboradores (Ausubel, Novak y Hanesian, 1991), fue creada a finales de los años '60, aunque no se consideró en la enseñanza hasta bastante tiempo después. Supuso la contestación al aprendizaje por descubrimiento y la crítica se centró en que la solución de problemas no garantiza, por sí misma, el 'descubrimiento' de conocimiento (Ausubel, Novak y Hanesian, 1991). Según Ausubel, es adecuado solucionar problemas a través de la experiencia siempre y cuando exista un vínculo con la teoría o, de lo contrario, la solución del problema resulta un conocimiento aislado, descontextualizado y de muy difícil utilización

posterior. El aprendizaje significativo se define en esta teoría, por contraste con el aprendizaje memorístico e incidental, como aquel conocimiento que se vincula de forma coherente a la estructura cognitiva (conocimiento previo) del aprendiz. Dado que la elaboración de significados no tiene por qué realizarse en exclusiva a través de la manipulación experimental, en la enseñanza de las ciencias, la teoría del aprendizaje significativo reivindicó el aprendizaje verbal por recepción de conocimientos bien elaborados (Novak, 1979); la comprensión (y no la producción) se consideró el proceso cognitivo fundamental que podría lograrse con economía de tiempo y medios de modo receptivo. En las situaciones de enseñanza la comprensión está mediada por el lenguaje, y no necesariamente ha de ir asociada a una actividad manipulativa y experimental. Una actividad de aprendizaje por descubrimiento podía conducir a un aprendizaje no-significativo (accidental, memorístico, descontextualizado, etc.) y, también, una actividad de aprendizaje por recepción de conocimientos elaborados podrían llevar a un aprendizaje significativo.

Uno de los resultados de la aplicación de esta teoría educativa fue una nueva disminución del tiempo dedicado al trabajo de laboratorio escolar en los currículos escolares: el estudiante no necesitaba re-descubrir por sí mismo el conocimiento científico si se le podía suministrar convenientemente elaborado para que pudiera integrarse en sus estructuras de conocimiento previo. Por tanto, los trabajos prácticos y la actividad experimental en general, fueron relegados al papel de confirmación, ilustración o comprobación del conocimiento previamente impartido. En la mayoría de ocasiones, esto fue realizado en el formato de “experiencia de cátedra” por el propio profesor. Esto supuso un retorno a las manipulaciones siguiendo recetas detalladas en la que no cabe la aportación personal, la creación (en forma de hipótesis), el diseño, la crítica propia de la actividad científica. Y, como afirma Gil (1983, p 31), *“los alumnos obtienen poco beneficio cuando los montajes experimentales están completamente dispuestos y preparados”*.

En resumen, tras varias décadas de innovaciones en la educación científica, había poca evidencia de que a los estudiantes se les proporcionaran oportunidades y tiempo para entender la naturaleza de la ciencia y su relación con el trabajo de laboratorio: rara vez se les permitía tomar nota de las discrepancias entre sus propios conceptos, los conceptos de

sus compañeros y los de la comunidad científica (Eylon y Linn, 1988; Tobin 1990). Así pues, el trabajo práctico significaba disponer de equipos o artefactos para la manipulación de materiales, pero no se manipulaban ideas, es decir, se reflexionaba poco sobre los datos obtenidos, ni había construcción de significados (Hofstein y Kind, 2012).

Al mismo tiempo, las investigaciones empíricas sobre el conocimiento previo de los alumnos en temas de ciencias llevaron a replantear el modo en que las personas adquieren conocimiento sobre el mundo que les rodea. Desde finales de la década de los '70 habían aparecido críticas importantes hacia la influencia de Piaget en la educación científica, argumentando que se había dedicado mucha atención hacia las habilidades cognitivas generales en el aprendizaje de la ciencia (por ejemplo, la lógica), y que los profesores de ciencias habían descuidado la importancia del desarrollo conceptual de los estudiantes (Driver y Easley, 1978). El encuentro con interpretaciones alternativas a las científicas sobre fenómenos naturales, su coherencia interna y su resistencia al cambio hizo a los didactas comprender que el conocimiento se elabora dentro del cerebro humano y no se descubre en el mundo exterior. Se asumió pues, la propuesta de la filosofía constructivista cuya idea central "*() es que el conocimiento y el aprendizaje no se desprende de una lectura directa de la realidad o de la experiencia; sino que ambos son consecuencia de la actividad mental constructiva del individuo*" (Coll, Palacio y Marchesi, 2005, p. 20).

Una vez se asume este principio, no resulta difícil entender también que la ciencia es una actividad humana y colectiva de elaboración de significados, y de compartición de los mismos, más que una "biblioteca de hechos naturales" acumulados. Los significados (sobre la naturaleza) son construidos por los humanos (colectivamente) y no son unívocos ni permanentes, sino mutables y dependientes de la cultura y de los modos de entender el conocimiento y el mundo en cada momento de la historia. La consecuencia inmediata es que el valor de lo que se aprende (de ciencia) depende grandemente del cómo se aprende. Y esta es una característica del conocimiento científico.

La necesidad de desarrollar una argumentación sistemática para compartir un significado lleva a los didactas a privilegiar el trabajo grupal más que el individual en el aprendizaje de las ciencias (Osborne, 2010; Slavin, 1995; Zakaria y Iksan, 2007; Fraser, 2007). El aprendizaje cooperativo es, pues, un enfoque de enseñanza en el cual los

estudiantes trabajan en grupos pequeños para ayudar a otros a aprender (Slavin, 1983 y Johnson y Johnson, 1987).

A partir de esto, Gil y colaboradores (Gil, 1986; Gil y Castro, 1996) desarrollaron una teoría de la enseñanza de fuerte raíz epistemológica. Según estos autores, la ciencia no es un conocimiento “natural” que se puede adquirir ambientalmente, por contacto con el mundo, sino una actividad rigurosa de esfuerzo colectivo que sólo puede ser aprendida del mismo modo que es construida. Es decir, los alumnos deberían ser conceptualizados como “investigadores noveles” que, trabajando en grupo, y con la guía constante del “investigador experto” (el profesor) construyen y comparten nuevo conocimiento.

Por tanto, las actividades de aprendizaje deberían entenderse como pequeñas investigaciones dirigidas, en donde se respetasen los tiempos de cada alumno para elaborar el conocimiento científico, emitir hipótesis, diseñar experimentos para contrastarlas, obtener, interpretar y discutir datos, argumentar propuestas, etc. Estos autores proponen el aprendizaje de la ciencia como un cambio conceptual y metodológico (Gil y Carrascosa, 1985), es decir, como la superación de concepciones espontáneas y erróneas de los estudiantes a partir de un trabajo similar al que desarrollan los científicos (pero con la correspondiente transposición didáctica y la guía de los profesores, como hemos dicho).

En el seno de este modelo constructivista, Gil y Payá (1988) analizaron los trabajos prácticos que se desarrollan en la enseñanza de las ciencias y encontraron que la mayoría de los experimentos que se realizan en las aulas suponen, en realidad, un alejamiento del auténtico trabajo científico. Los autores consideran que el profesorado tiene una visión inadecuada de la metodología científica caracterizada por un empirismo extremo, con olvido de todo lo que supone pensamiento divergente y reduciendo la idea de “método científico” a la aplicación de una serie de pasos bien secuenciados y definidos, que comienza en la observación de la realidad, en contra de las concepciones epistemológicas actuales que sitúan a las hipótesis en el centro del trabajo científico (Hempel, 1978). Consecuentemente, los estudiantes no pueden conocer realmente la metodología científica, que es un objetivo prioritario de aprendizaje. Una forma de superar esta situación, según estos autores, es desarrollar un modelo de enseñanza que concibe el aprendizaje como un cambio conceptual y metodológico (Gil y Carrascosa, 1985).

Gil y Payá (opus cit) proponen transformar las prácticas habituales de física y de química de forma que posean las características de un trabajo de investigación. La idea básica de esta transformación es la existencia de cierto isomorfismo entre la producción de conocimiento científicos y el aprendizaje significativo de los mismos. Lo principal es que se planteen problemas a los alumnos para conducirlos a la formulación de hipótesis fundamentadas, invención de diseños experimentales adecuados, etc. Todo esto supone una pequeña investigación bajo la orientación y guía del profesor. La propuesta fue validada en un estudio en el que participaron 619 sujetos de Secundaria y profesores en formación inicial. Los resultados mostraron una muy escasa familiarización de los alumnos con la metodología científica. Por el contrario, cuando se trabajaron las prácticas de laboratorio como investigación, los resultados fueron satisfactorios.

Se ha argumentado que aunque las experiencias de laboratorio ofrecen un espacio único para que los estudiantes puedan crear sentido de los fenómenos, y los profesores puedan comprender mejor el pensamiento de los estudiantes, las actividades de laboratorio no son suficientes para permitir una construcción de la comprensión conceptual compleja de la comunidad científica contemporánea (Lunetta, 1998). Lo que se puede lograr en el laboratorio es que los estudiantes articulen y compartan sus ideas, de tal forma que se les ayude a percibir las discrepancias entre sus propias ideas, las de sus compañeros de clase y las de la comunidad científica (Lunetta, Hofstein, y Clough, 2007). Estos autores, desde una perspectiva constructivista, piensan que los aprendices tengan algún control de sus actividades, es decir, que puedan autorregularse en sus propios procesos de aprendizaje. Aunque es un proceso complejo, el aprendizaje significativo en el laboratorio puede ocurrir si los estudiantes disponen del tiempo suficiente y la oportunidad de interactuar, reflexionar, explicar y modificar sus ideas (Barron et al, 1998). El desafío consiste en ayudar a los estudiantes a tomar el control de su propio aprendizaje, en la búsqueda de la comprensión mientras se les proporcionan oportunidades que les animan a formular preguntas, sugerir hipótesis y diseñar investigaciones, y actividades de tipo *minds-on*, así como *hands-on* (Gunstone, 1991). La labor de los profesores estaría enfocada principalmente a secuenciar las actividades y dirigir los procesos de creación y de discusión de los estudiantes.

2.4. Objetivos que se atribuyen al trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias

Existe una amplia bibliografía desde hace muchos años relativa a analizar la importancia de los trabajos prácticos de laboratorio en la enseñanza de las ciencias (Kerr, 1964; Hofstein y Lunetta, 1982; Lazarowitz y Tamir, 1994; Lunetta, 1998; Hart y col., 2000; NCR, 2006; Hofstein y Mamlok-Naaman, 2007; Richardson y col., 2008, entre otros). Si bien cada autor presenta diferentes ejes para estructurar su análisis, en todos esos estudios pueden distinguirse algunos objetivos importantes del trabajo práctico que vamos a comentar (NRC, 2006).

2.4.1. Ayudar a comprender los hechos y las teorías científicas

Šorgo y Špernjak (2012) sostienen que los trabajos prácticos son importantes ya que a través de ellos los alumnos pueden observar fenómenos reales. Como sostiene Insausti (1997), la ciencia “cobra vida”. Asimismo, pueden motivar a los estudiantes para conocer más respecto de la ciencia y su influencia en el mundo actual.

De acuerdo con Millar (2004), dado que el objeto de la ciencia es el mundo material, parece natural que el aprendizaje de la ciencia implique ver, manejar y manipular objetos reales y materiales, y que la enseñanza de la ciencia implique actos de ‘mostrar’, así como de ‘decir’. En este sentido, el autor se pregunta: ¿cuál es exactamente el papel de las experiencias prácticas para ayudar a la comprensión, y en qué son esenciales?, ¿cómo, y con qué eficacia, aumentan otras formas de comunicación (verbal, gráfica, pictórica y simbólica) para ser utilizadas por los profesores? (Millar, 2004). La pregunta central acerca del conocimiento y la cognición es: ¿cómo podemos construir representaciones del mundo exterior? Una respuesta a esta pregunta se puede encontrar en la obra de Jean Piaget. Piaget (1970) sostiene que construimos representaciones cada vez más sofisticadas y poderosas del mundo actuando sobre ellas a la luz de nuestros conocimientos actuales y modificando estos a la luz de los datos que aquellas generan. A través de la acción en el mundo, se generan los datos sensoriales que pueden ser asimilados por los esquemas existentes o requieren que estos se modifiquen para ser adaptados a los nuevos datos, a fin de restablecer el equilibrio entre las realidades internas y externas. A través de esta acción,

construimos una visión de qué objetos hay en el mundo, de qué están hechos y qué se puede hacer con ellos. Si la visión de Piaget es correcta, entonces la experiencia práctica de observación y, aún más importante, de intervención en el mundo es esencial para la comprensión de los fenómenos (Millar, 2004). Esta visión, podría ser una ayuda para la comprensión de las actividades experimentales.

Resumiendo los resultados de su revisión de investigaciones sobre el trabajo de laboratorio, Lunetta y colaboradores (2007) concluyeron que cuando está bien planificado y ejecutado, el laboratorio de educación en ciencias permite situar el aprendizaje de los estudiantes en diferentes niveles, cuestión ésta que no es posible en otras experiencias de educación científica. Estos autores sostienen que el laboratorio puede ser un medio especialmente adecuado para proporcionar un contexto significativo para el aprendizaje, y para desafiar las ideas de los estudiantes profundamente arraigadas sobre los fenómenos naturales, y la construcción y reconstrucción de sus ideas. En términos de un enfoque pedagógico, afirman que la teoría del aprendizaje social pone de manifiesto la importancia de fomentar el trabajo en grupo en el laboratorio para que el diálogo sea conceptualmente significativo entre los estudiantes, así como entre el profesor y el alumno.

La efectividad de los trabajos prácticos para ayudar a los estudiantes a comprender la ciencia ha sido revisada y criticada en la bibliografía (Erickson, 1994). Watson (2000) plantea que no existe un progreso automático en la construcción de conceptos sólo a partir de observar un fenómeno. Por otra parte, si se presentan experiencias de laboratorio aisladas, planificadas como recetas a seguir, es difícil que los estudiantes puedan mejorar el aprendizaje de los contenidos científicos (Hofstein y Lunetta, 1982, 2004; Lazarowitz y Tamir, 1994; White, 1996). Por ejemplo, Van der Berg y col. (1994) plantearon que sólo actividades prácticas especialmente seleccionadas podrían conducir a un cambio conceptual.

Otras investigaciones sostienen que muchas veces las observaciones en el laboratorio se encuentran tan influenciadas por las concepciones de los estudiantes que ellos tienden a ajustar las observaciones en función de sus concepciones (Champagne y col., 1985; Linn, 1997).

2.4.2. Actuar como lo hacen los científicos

Las experiencias de laboratorio promueven en los estudiantes habilidades como identificar preguntas y conceptos, diseñar y conducir investigaciones científicas, desarrollar y analizar explicaciones y modelos científicos, elaborar y defender argumentos científicos, escribir y revisar información empleando apropiadamente el lenguaje científico, y responder a aseveraciones críticas. Lunetta y colaboradores (Luneta, Hofstein y Clough, 2007, p. 393) sostienen que las prácticas realizadas en el laboratorio escolar “ () *promueven el desarrollo del conocimiento científico de los estudiantes, propician habilidades de resolución de problemas, conocimiento conceptual y constituyen una aproximación al conocimiento de la naturaleza de la ciencia*” . Estos autores enfatizan el hecho de que estas prácticas permiten acceder a conocimientos que no son posibles empleando otras metodologías de enseñanza para la educación científica.

En este mismo sentido, Martínez Torregrosa y colaboradores (2012) plantean que existen aspectos en los que el trabajo práctico es insustituible para reflexionar sobre la naturaleza del conocimientos científico, la elaboración de diseños experimentales lógicos resolver problemas de tipo técnico, elección de los objetos (reacciones) a estudiar y los procedimientos factibles, el análisis de datos para extraer conclusiones basadas en la evidencia conseguida y en las hipótesis; el tratamiento de las imprecisiones de las medidas, etc. Sin embargo, sostienen que el seguimiento de instrucciones pormenorizadas, como es habitual en los laboratorios, probablemente no conduzca al aprendizaje con comprensión. Concluyen que es mejor hacer menos prácticas de laboratorio (en el nivel universitario) y tratar con detenimiento y profundidad sólo unas pocas, integrándolas en el desarrollo del tema correspondiente.

Compartiendo estas objeciones, Hodson (1993) plantea que los valores científicos de objetividad, apertura para aceptar y no juzgar resultados que difieren de lo pensado, son escasos en los trabajos prácticos escolares, ya que los estudiantes necesitan obtener resultados correctos. Muy frecuentemente los estudiantes realizan la consabida pregunta: “*Profesor, ¿qué es lo que se supone que tiene que pasar?*” (Wellington, 1981, p.167)

De igual manera, en un estudio realizado sobre la efectividad del trabajo práctico en las escuelas primarias y secundarias de Inglaterra, Abrahams y Reiss (2012) encontraron

que, a pesar del hecho de que los maestros de primaria y secundaria incluyen el aprendizaje de ideas científicas entre sus objetivos de aprendizaje, hay poca evidencia de que esto se logre. De igual forma, los hallazgos de este estudio sugieren que las tareas prácticas eran generalmente ineficaces para ayudar a los estudiantes a ver la tarea desde la perspectiva de un científico, o para utilizar las ideas científicas como una forma de dar sentido a sus observaciones y/o datos.

En este sentido, Payá (1991) critica la manera en que se llevan a cabo los trabajos prácticos en un estudio amplio sobre la enseñanza de la física y la química. Utilizando una muestra de análisis de los trabajos prácticos propuestos en 75 libros de texto, este autor encontró que un bajo porcentaje hace referencia a las hipótesis y sólo un 30 % plantea el problema que daba sentido a lo que se pedía que hicieran los alumnos. Similarmente, González de la Barrera (2003), a partir de un análisis de 100 guías de laboratorio de primer curso en la asignatura de Física, encontrando que en 83 de ellas se trataba de verificar o ilustrar una relación ya establecida en clase de teoría o en la mera aplicación de una técnica; en el 75% no se mencionaban siquiera hipótesis y en un 14% se presentaban escritas en la guía. Por lo tanto, González de la Barrera encuentra que las prácticas de laboratorio se realizan de manera reduccionista y que no favorecen una visión adecuada de la actividad científica. Para este autor, las prácticas de laboratorio que se realizan habitualmente no reflejan las características esenciales del trabajo científico y, por lo tanto, no contribuyen a que los alumnos se familiaricen realmente con la metodología científica, lo cual impide un aprendizaje de las ciencias verdaderamente significativo.

2.4.3. Comprender la naturaleza de las ciencias

Los trabajos prácticos ayudan a comprender los valores y suposiciones inherentes al desarrollo e interpretación del conocimiento científico, por ejemplo, que los modelos o teorías científicas pueden variar en función de la presencia de nueva evidencia.

Lunetta, Hofstein, y Clough (2007) han mostrado que dentro de las investigaciones llevadas a cabo para determinar los temas emergentes en el laboratorio de educación en ciencia, uno de los más promisorios es el desarrollo de la comprensión por parte de los estudiantes de la naturaleza de las ciencias. En este sentido, recuerdan que este aspecto ha sido articulado como un objetivo de aprendizaje para este siglo en la educación científica.

Consideran que el uso efectivo de las experiencias de laboratorio puede ayudar a los estudiantes y profesores a clarificar la naturaleza de la ciencia.

Sin embargo, investigaciones realizadas muestran que los alumnos más jóvenes tienden a pensar que las experiencias de laboratorio “son la ciencia”. En los últimos años de la escuela secundaria sólo una pequeña parte de los alumnos sostienen la idea de que la ciencia es una interrelación entre la construcción de modelos y la experimentación (Driver y col., 1996, Carey y Smith, 1993, Smith y col., 2000).

2.4.4. Comprender que todo trabajo empírico conlleva imprecisiones

Los alumnos deben comprender que en todo trabajo experimental siempre se encuentran presentes los errores de medición. Es por ello que deben conocer las técnicas para estimarlos, reducirlos cuando sea posible, y saber interpretar los datos obtenidos a la luz de dichos errores. El estudio realizado por Toth, Klahr, y Chen, (2000) muestra que se produjo un aumento significativo en la capacidad de los estudiantes de cuarto grado para crear experimentos controlados, proporcionar justificaciones válidas para sus experimentos, y evaluar los experimentos diseñados por otros. Asimismo, la investigación permitió plantear varias preguntas nuevas sobre cómo los estudiantes entienden las fuentes de error durante la experimentación y como esa comprensión se relaciona con su nivel de certidumbre acerca de las conclusiones que se apoyan en los resultados experimentales.

Similares resultados encontraron Masnick y Klahr (2003), quienes investigaron la comprensión del error en la elaboración de trabajos experimentales. Los autores consideran que el error es un aspecto omnipresente e ineludible de la ciencia empírica, y que a menudo desempeña un papel causal en los resultados experimentales. Sin embargo, poco se sabe acerca de la comprensión infantil de las causas y consecuencias del error experimental. Para hacer frente a esta visión, se propone un marco para la caracterización del error experimental y, consecuentemente, utilizarlo para guiar una evaluación empírica de la comprensión del error por parte los niños de Escuelas Primarias, así como el uso de la teoría y la evidencia en la orientación de esta comprensión, y el papel del contexto en el razonamiento sobre error o las imprecisiones en la experimentación. Se encontró que los niños de segundo y cuarto grado podrían proponer y reconocer las posibles fuentes de error

antes de que pudieran diseñar experimentos sin factores de confusión. Ellos usaron la evidencia para guiar su razonamiento, hacer predicciones y sacar conclusiones basadas en el diseño de sus experimentos, siendo sensibles al contexto del razonamiento: Se diferenció el papel del error en las mediciones relativas y absolutas. Se concluye que mucho antes de que los niños hayan adquirido los procedimientos formales necesarios para el control de error, tienen una sorprendente riqueza, -aunque no sistemática-, de la comprensión de sus diversas fuentes. Similares resultados fueron encontrados por Strand-Cary y Klahr (2008) en un estudio con 72 estudiantes de tercero, cuarto y quinto grado sobre control de variables en el laboratorio. En este sentido, se encontró que en cada uno de los tres niveles considerados muchos niños aprendieron más sobre control de variables en la condición explícita que en la condición de exploración.

2.4.5. Desarrollar habilidades prácticas

Las habilidades prácticas incluyen saber manipular correctamente los diferentes equipos de medición, y hacerlo de forma segura, realizar las observaciones, registrar las mediciones, etc. Baesly (1985) y Singer (1977) entre otros, indican que es importante realizar una actividad anterior a las prácticas de laboratorio para que los alumnos aprendan a utilizar los instrumentos de medición. De este modo, luego podrán obtener los resultados esperados en las prácticas propiamente dichas.

2.4.6. Desarrollar habilidades de trabajo en equipo

En el trabajo en grupo los estudiantes deben colaborar con sus compañeros, compartir las actividades y datos obtenidos, asumir diferentes roles en tiempos distintos y proponer y defender sus ideas (Hoffstein y Lunetta, 1982). Asimismo, Lazarowitz y Tamir (1994) sostienen que estas interacciones cooperativas entre los estudiantes se ven favorecidas por el hecho de que el laboratorio provee un medio social menos formal que las clases convencionales.

2.4.7. Obstáculos asociados con los trabajos prácticos

Una gran cantidad de publicaciones han analizado obstáculos presentes en el trabajo práctico que no han sido mencionados en los puntos anteriores.

Se ha encontrado que los estudiantes muchas veces no tienen claro el objetivo de los trabajos prácticos (Chang y Lederman, 1994) y que, a veces, sus objetivos no coinciden con aquellos de los profesores (Hodson, 1993; Osborne y Fryberg, 1985; Wilkenson y Ward, 1997). Cuando los alumnos no comprenden el objetivo de los trabajos prácticos, no realizan conexiones entre los trabajos y lo realizado anteriormente y no observan las discrepancias que puede haber con sus propias concepciones, con las de sus compañeros y con las de la ciencia (Champagne y col., 1985; Eylos y Linn, 1988; Tasker, 1981). Para muchos estudiantes, el trabajo en el laboratorio consiste en manipular equipamiento, pero no ideas (White, 1998).

En entrevistas realizadas a docentes, Petrucci y col. (2008) han encontrado que los profesores son conscientes de que las actividades experimentales son sumamente complejas para los estudiantes debido a la cantidad, diversidad y complejidad de tareas que deben llevar a cabo, y porque se plantean simultáneamente objetivos muy diferentes entre sí, lo que conlleva a que para los estudiantes, el laboratorio sea un espacio de incertidumbres, con más variables de las que puedan manejar, en el que deben tomar decisiones y desarrollar estrategias que superan su capacidad, dada la falta de experiencia e instrucción en dichas tareas.

Otras investigaciones (Brown et al, 1989; Roth, 1995; Williams y Hmelo, 1998; Wenger, 1998; Polman, 1999) indican que el aprendizaje debe ser contextualizado en la realidad para ser eficaz. Los alumnos construyen el conocimiento mediante la resolución de problemas reales, vinculados con su vida diaria. Se ha encontrado que las actividades prácticas que no son contextualizadas y simplemente suponen una práctica de habilidades, pueden generar un rendimiento menor que las tareas que comprometen a los estudiantes a tener un propósito relacionado con su vida diaria.

Abrahams y Millar (2008), investigando sobre la efectividad del trabajo práctico como método de enseñanza y aprendizaje en la escuela de ciencias, muestran que el trabajo práctico fue generalmente eficaz para lograr que los estudiantes hagan lo que se pretende con los objetos físicos, pero mucho menos eficaz en conseguir que utilicen las ideas científicas previstas para guiar sus acciones y reflexionar sobre los datos que recogen. Existe una larga tradición de desarrollo de tareas que guían a los estudiantes a través de actividades sin necesidad de una reflexión profunda. La experiencia de laboratorio típico

en educación en ciencias es una práctica, pero no es una actividad de pensamiento (*minds-on activity*), Este problema, además, está relacionado con el miedo de los profesores de perder el control en el aula y dar a los estudiantes una mayor responsabilidad en su aprendizaje (Hofstein y Kind, 2012).

Otra crítica frecuente se refiere a la falta de formación específica de los profesores respecto del trabajo experimental. Se ha mostrado que los profesores necesitan conocimientos, habilidades y recursos que les permitan enseñar de manera efectiva en ambientes de aprendizaje práctico. Se muestra además que las percepciones de los estudiantes y los comportamientos en el laboratorio de ciencias están muy influenciados por expectativas de los docentes, las prácticas de evaluación y la orientación mediante guías de trabajo (Abrahams y Millar, 2008).

2.5. Propuestas didácticas sobre trabajos prácticos en la educación científica

Existe una amplia bibliografía desde hace muchos años relativa a analizar el papel de los trabajos prácticos en la enseñanza de las ciencias (Kerr, 1964; Hofstein y Lunetta, 1982; Lazarowitz y Tamir, 1994; Lunetta, 1998; Hart y col., 2000; NRC, 2006; Hofstein y Mamlok-Naaman, 2007; Richardson y col., 2008 entre otros). Hay una variedad de investigaciones sobre el uso y la efectividad del trabajo práctico en contextos educativos. Por ejemplo, existen investigaciones referidas al aprendizaje y enseñanza en el laboratorio de ciencia escolar (Luneta, Hofstein, y Cloug, 2007; Hofstein y Luneta, 2003; Hofstein, 2004; Hofstein y Kind, 2012; Dillon, 2008); trabajos sobre el trabajo práctico para la enseñanza de la física y la química como investigaciones dirigidas (Payá, 1991; González de la Barrera, 2003), y sobre la efectividad de los trabajos prácticos como método de enseñanza y aprendizaje en la escuela de ciencia. También se encuentran diversas aproximaciones y modelos teóricos usados en los trabajos prácticos para el aprendizaje de las ciencias en diferentes países (Allen, 2012; Toplis y Allen; 2012; Šorgo Špernjak, 2012; Kennedy, 2012; Kidman, 2012; Mamlok-Naaman Barnea, 2012; di Fuccia, Witteck, Markic Eilks, 2012) a partir de presupuestos de una educación en ciencias basada en el trabajo práctico como producto y proceso (Millar, 2004), la evidencia en educación en ciencias mediante el uso del laboratorio (Duschl, 2004) y estudios referidos a

la integración de trabajos prácticos en la enseñanza (Martínez Torregrosa, 2012, Hodson, 2009); o estudios sobre eficacia de los trabajos prácticos en las escuelas primarias y secundarias de ciertos países (Abrahams y Reiss, 2012).

2.5.1. Trabajos prácticos como investigación dirigida

En el punto anterior se mencionó que una de las mayores críticas al diseño de los trabajos prácticos es que el trabajo de laboratorio a menudo transmite una visión empirista y atórica de la investigación científica y se enmarca como un libro de receta, es decir, como una secuencia de instrucciones que los estudiantes deben seguir, con graves deficiencias desde el punto de vista metodológico, como son la ausencia de hipótesis o de pensamiento crítico inductivo y deductivo (Martínez Torregrosa y colaboradores, 2012). Como respuesta a estas críticas surge el diseño de trabajos prácticos como investigación dirigida (Hodson, 1992 y 1993; Tamir y García, 1992, Watson, 1994; Gil Pérez y colaboradores, 1991; Grau, 1994; Martínez Torregrosa y colaboradores, 2012, entre otros).

Una síntesis de la propuesta se encuentra en Carrascosa y colaboradores, (2006, p. 260) quienes manifiestan que “ *una práctica de laboratorio que pretenda aproximarse a una investigación ha de dejar de ser un trabajo puramente experimental e integrar muchos otros aspectos de la actividad científica igualmente esenciales*” entre los que se encuentran los siguientes:

- a) presentar situaciones problemáticas abiertas, adecuadas al nivel educativo, para que los estudiantes puedan tomar decisiones para transformarlas en problemas precisos
- b) favorecer la reflexión de los estudiantes sobre la relevancia y el posible interés de las situaciones propuestas que dé sentido a su estudio, incluyendo las relaciones ciencia/técnica/sociedad/ambiente
- c) potenciar los análisis cualitativos significativos, que ayuden a comprender y acotar las situaciones planteadas
- d) plantear la emisión de hipótesis como actividad central de la investigación científica, para orientar el tratamiento de las situaciones y hacer explícitas las preconcepciones de los estudiantes

e) elaborar los diseños experimentales que los estudiantes crean pertinentes, dando a la dimensión tecnológica el papel que le corresponde en el proceso

f) plantear el análisis detenido de los resultados a la luz del cuerpo de conocimiento disponible, de las hipótesis planteadas y de los resultados de otros investigadores. Favorecer la autorregulación del trabajo de los alumnos y a los conflictos cognitivos surgidos entre los resultados y las preconcepciones de los alumnos

g) pedir un esfuerzo de integración del trabajo realizado con un cuerpo coherente de conocimientos

h) conceder una especial importancia a la elaboración de las memorias científicas que reflejen el trabajo realizado

i) potenciar la dimensión colectiva del trabajo científico organizando equipos de trabajo y facilitando la interacción entre los distintos equipos

2.5.2 Propuesta de unidades instruccionales integradas

Como respuesta a las críticas realizadas a los trabajos prácticos de laboratorio tradicionales mencionadas en el punto 2.3, en Estados Unidos surgió hace 15 años la propuesta de las unidades instruccionales integradas. A continuación se presentan las características generales de la propuesta, (Singer, Hilton y Schweingruber, 2005). Se basa en cuatro factores que favorecen el aprendizaje propuestos en investigaciones presentadas en el informe *Cómo aprenden los alumnos* (NCR, 1999): a) el conocimiento previo de los alumnos, no sólo de contenidos escolares, sino también de prácticas y creencias culturales; b) el contexto, ya que las prácticas se presentan integradas en el desarrollo de los contenidos, de manera que no sólo se enseñan habilidades experimentales, sino que las actividades contribuyen a la comprensión de la manera en que se construye la ciencia, así como de los conceptos involucrados; c) el lenguaje, cuando los estudiantes formulan preguntas a los docentes, deben reflexionar respecto de lo que saben y de lo que no saben, por lo cual toman conciencia de su propio conocimiento, d) los procesos sociales, el diseño está basado en trabajo colaborativo de estudiantes y docentes, debido a que la interacción conlleva a un aprendizaje más profundo.

Las unidades están constituidas por actividades cognitivas y sociales cuidadosamente estructuradas, donde el laboratorio está enlazado con otras actividades, como lectura de textos, exposiciones orales y discusiones grupales y generales, de manera

que no sean algo aislado, sino que les sirva a los estudiantes para comprender el tema que están estudiando. Se parte de preguntas de investigación cuidadosamente seleccionadas de manera que, para ser respondidas, los estudiantes deban diseñar y llevar a cabo experimentos, recoger y analizar datos, construir argumentos y conclusiones. Los docentes pueden responder sus preguntas con el fin de promover la reflexión en los alumnos. La intervención y la negociación de los estudiantes con los docentes ayudan a los alumnos a encontrar el sentido de las prácticas de laboratorio.

2.5.3. Empleo de simulaciones y laboratorios virtuales

Lunetta y Hofstein (2003, p.42) sostienen que “ *la inclusión de simulaciones puede ayudar a los alumnos a comprender los sistemas, procesos y fenómenos reales* ”, si las simulaciones se diseñan para que los alumnos puedan observar experiencias que son difíciles de llevar a cabo en el laboratorio

En la bibliografía existen tres posturas bien diferenciadas (Olympiou y Zacharia, 2012). Una de ellas sostiene que no hay diferencia entre el trabajo práctico que los alumnos realizan en el laboratorio con dispositivos reales, que denominan aproximación física (AF), y el trabajo que realizan en el laboratorio virtual (AV) (Klahr et al., 2007; Triona y Klahr, 2003; Zacharia y Constantinou, 2008; Zacharia y Olympiou, 2011). Para algunos autores, el uso de laboratorio virtual es más útil que AF (Finkelstein et al., 2005; Zacharia, 2007; Zacharia et al., 2008). Pero otros autores sostienen que es al revés (Gire et al., 2010; Marshall y Young, 2006), debido a que a partir de las manipulaciones físicas, se desarrollan habilidades psicomotoras y además están presentes los errores de medición, con lo cual se puede reflexionar sobre la naturaleza de la ciencia. Es por ello que numerosos investigadores han propuesto combinar ambas aproximaciones (Campbell, Bourne, Mosterman, y Brodersen, 2002; Jaakkola y Nurmi, 2008; Jaakkola et al., 2010; Toth et al., 2009; Winn et al., 2006; Yueh y Sheen, 2009; Zacharia y Constantinou, 2008; Zacharia y Olympiou, 2011; Zacharia et al., 2008). La manera en que se pueden combinar ambas aproximaciones puede ser secuencial (Jaakkola y Nurmi, 2008; Jaakkola et al., 2010), alternándolas para un mismo o diferente experimento o contexto (Gire et al., 2010; Toth et al., 2009; Winn et al., 2006; Zacharia 2007; Zacharia y Constantinou, 2008; Zacharia y Olympiou, 2011; Zacharia et al., 2008) o un abordaje integrado de ambas

aproximaciones, empleando una u otra en función del objetivo de enseñanza de un tema en particular. (Olympiou y Zacharia, 2012).

2.5.4.- Ideas principales encontradas en la revisión bibliográfica

En resumen, en esta revisión se ha mostrado la importancia del uso y la efectividad del trabajo práctico para la enseñanza de las ciencias en contextos educativos. Se considera que una buena calidad en la realización de los trabajos prácticos ayuda a desarrollar en los alumnos una mejor comprensión de los procesos y conceptos científicos estudiados. Estudios analizados, muestra que es preciso conocer el propósito de los laboratorios para que su aprovechamiento sea máximo. En este sentido, se evidencia que, si las prácticas cumplen algunos de los siguientes requisitos, serán efectivas para el aprendizaje y familiarización con la metodología científica: (1) que estén diseñadas con resultados de aprendizaje claros en mente, (2) que hayan sido cuidadosamente secuenciadas con el desarrollo de la clase teóricas, (3) que estén diseñadas para integrar el aprendizaje de contenidos científicos y los procesos de la ciencia, y (4) que incorporen la reflexión de los estudiantes en las asignaturas mediante procesos de argumentación.

De forma similar, algunas investigaciones muestran que si se contemplan las actividades experimentales bajo la metodología de una investigación dirigida los niveles de comprensión y aprendizaje mejoran significativamente. Esta concepción implica, entre otros elementos, la emisión de hipótesis, los diseños experimentales y la resolución de problemas, contrario a lo que sucede con las prácticas habituales, que por lo general están marcadas por un empirismo extremo que no privilegia la problematización. Finalmente, se encontró que las aplicaciones informáticas e Internet han permitido el desarrollo de prácticas en el laboratorio virtual que pueden reforzar el aprendizaje de la ciencia, incluyendo representaciones de fenómenos complejos, simulaciones, y la interacción de los estudiantes con grandes bases de datos científicas. Las representaciones y simulaciones tienen más éxito en el apoyo a los estudiantes para el aprendizaje cuando se integran en una secuencia de instrucciones que incluyen también las experiencias de laboratorio. Un número importante de las investigaciones revisadas da cuenta de ciertas inconsistencias respecto del empleo de simulaciones o de laboratorios virtuales. Por un lado, se considera

que no hay diferencia alguna; por el otro, se argumenta que el laboratorio virtual es más útil. Finalmente, el resto sostiene que es al revés, debido a que a partir de las manipulaciones físicas, se desarrollan habilidades psicomotoras y además están presentes los errores de medición, con lo cual se puede reflexionar sobre la naturaleza de la ciencia. En cualquier caso, existe una visión mediadora en donde se considera un abordaje integrado de ambas aproximaciones, empleando una u otra en función del objetivo de enseñanza de un tema en particular.

CAPÍTULO 3

Importancia de las Preguntas en
el Aprendizaje de las Ciencias

3.1.-Introducción

Como se mencionó anteriormente, los profesores están de acuerdo en la importancia de las preguntas de los estudiantes. Habría un consenso ‘didáctico’ sobre la incidencia de formular preguntas en el aprendizaje profundo de los contenidos (Flammer, 1981; Dillon, 1988; van der Meij, 1994). Existen varias razones esgrimidas para justificar esta importancia otorgada a las preguntas. La más frecuente es que las preguntas promueven el aprendizaje activo y la construcción del conocimiento, tanto a nivel personal como social. En efecto, diversos estudios muestran una mejora en la comprensión y en la memorización de los estudiantes cuando éstos son instruidos para aprender a formular preguntas (Craig, Gholson, Ventura, Graesser, y the Tutoring Research Group, 2000; Rosenshine, Meister, y Chapman, 1996). Otra razón relevante para dar importancia a las preguntas es de tipo epistemológico. El conocimiento científico se origina a partir de “buenas preguntas” formuladas con precisión y originalidad, lo cual es una diferencia importante entre el trabajo que los científicos realizan y el trabajo que los estudiantes suelen realizar en las clases de ciencias (Chinn y Malhotra, 2002). Se acepta, por tanto, que las preguntas en el aula son deseables y están relacionadas con la comprensión y el aprendizaje de las ciencias. Finalmente, las preguntas de los estudiantes tienen un lugar importante en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, porque ayudan en la comprensión y, consecuentemente, en el aprendizaje (Chi y Osborne, 2008).

En este capítulo se pretende transmitir la idea de que el desarrollo de la capacidad de hacer preguntas por parte de los estudiantes es muy importante para el aprendizaje de las ciencias, dado que para ellos, sus preguntas tienen el potencial para: (a) dirigir su aprendizaje y conducir la construcción de su conocimiento, (b) fomentar la argumentación y el debate, (c) ayudarles en la auto-evaluación y control de su comprensión, y (d) aumentar la motivación y el interés en un tema, despertando su “curiosidad epistémica”, es decir, la motivación para buscar activamente la información necesaria para construir el propio conocimiento.

3.2.-La calidad de las preguntas en contextos educativos: ¿qué entienden los profesores por una “buena pregunta”?

En coherencia con el consenso entre los profesores e investigadores sobre la importancia de las preguntas de los estudiantes, en la práctica educativa debería encontrarse, de forma habitual, no sólo el estímulo de las preguntas formuladas por los estudiantes, sino también la discriminación entre preguntas de bajo y alto nivel cognitivo (las que favorecen una comprensión profunda del contenido), y una valoración e integración didáctica de las preguntas de alto nivel cognitivo en la instrucción. Un requisito para que esto sea posible es que los profesores tengan un criterio claro sobre qué es una buena pregunta, de modo que puedan favorecerlas en cada tema estudiado y situación didáctica.

¿Cómo puede calificarse la calidad de una pregunta? ¿Depende la calidad de una pregunta de parámetros bien definidos y teóricamente fundamentados en procesos psicológicos y didácticos?

En la literatura especializada se encuentran diferentes, y más bien difusas, definiciones de “pregunta de calidad”: a) buenas preguntas de investigación (Marbach-Ad y Sokolove, 2000); b) las que apoyan el aprendizaje (Graesser, Ozuru y Sullins 2009); c) las que tienen un valor educativo (Scardamalia y Bereiter 1992). Así mismo, las escalas que miden esa calidad son también variadas. Se manejan criterios como la respuesta corta ó larga, la respuesta literal o inferencial a partir del material instruccional, etc. Una taxonomía de los tipos de pregunta de gran difusión es la propuesta por Graesser y colaboradores, con ligeras variaciones (Graesser, Person y Huber 1992; Graesser y Person, 1994; Graesser, Ozuru y Sullins, 2009), que diferencia entre preguntas de razonamiento superficial, intermedio y profundo (ver Tabla 3.1). En relación con los procesos cognitivos necesarios para responder a las preguntas, se ha utilizado también la taxonomía de Bloom (1956, en Neri de Souza, 2006), que se encuentra en la Figura 3.1.

Tipo de pregunta	Razonamientos requeridos (calidad)
Verificación Comparación Disyuntiva Completar un concepto Definición	Superficiales (baja calidad)
Ejemplo Interpretación Especificación de aspectos Cuantificación	Intermedios
Antecedente causal Consecuencia causal Orientación al objetivo Capacitar/ Habilitar Instrumental/ Procedimental Expectativa Enjuiciamiento	Profundos (alta calidad)

Tabla 3.1.- Taxonomía de preguntas según Graesser y colaboradores (Graesser, Person y Huber 1992; Graesser y Person, 1994; Graesser, Ozuru y Sullins, 2009).

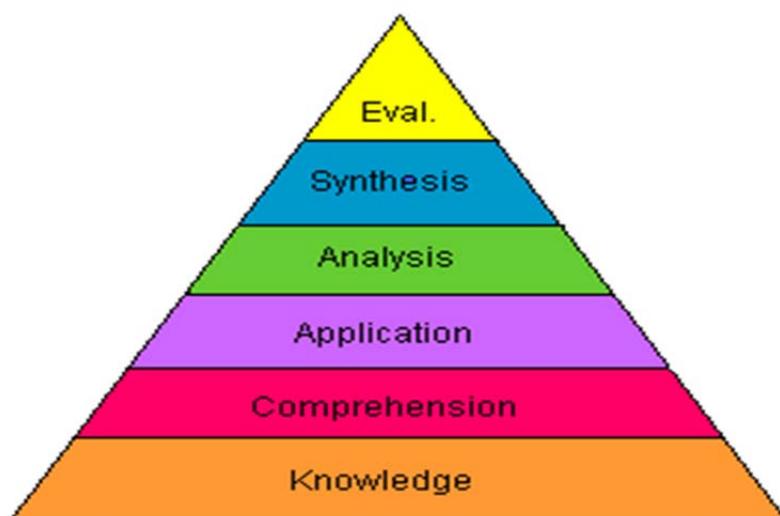


Figura 3.1.- Niveles de complejidad cognitiva según la taxonomía de Bloom.

Ya que el tipo de pregunta se relaciona con el tipo de proceso cognitivo y con el tipo de conocimiento necesario para procesarla y responderla, la calidad de una pregunta es un constructo complejo que puede ser entendido como compuesto por varias dimensiones o

componentes. Por ejemplo, Scardamalia y Bereiter (1992) consideran que las preguntas de calidad (definidas por su valor educativo) son aquellas que están compuesta por cuatro dimensiones: I) avance en el conocimiento; II) busca hechos o causas y explicaciones; III) interés; IV) complejidad en la búsqueda de la respuesta.

Gallastegui y Otero (2008) han propuesto las siguientes dimensiones para definir la calidad de una pregunta:

- i) Tipo de entidad a que está referida la pregunta (objetos vs procesos).
- ii) Tipo de inferencia que el sujeto trata de realizar:
 - i1) Preguntas sobre conocimiento de entidades y sus características
 - i2) Preguntas de explicación de las entidades.
 - i3) Preguntas sobre consecuencias de las entidades.
- iii) Proximidad de la entidad que afecta la pregunta (medio próximo vs lejano).
- iv) Nivel de concreción de las entidades (concretas vs abstractas)
- v) Violación o no de una expectativa clara.

Elaboraron un listado de 30 preguntas sobre Física y Química (basadas en preguntas de los estudiantes), cubriendo todas las dimensiones anteriores. Se pidió a un grupo de 14 profesores de Física y Química, con amplia experiencia docente, que puntuasen la calidad de esas preguntas. Para cada pregunta los profesores debían: a) puntuar la calidad de la pregunta de 0 a 10; b) indicar las razones de la puntuación; c) puntuar de 0 a 10 su conocimiento de la respuesta a la pregunta. De este modo se podría comparar las dimensiones teóricas elegidas a priori con variables manejadas por los expertos.

Los resultados arrojaron puntuaciones medias para la calidad de las preguntas en un rango entre 5 y 8 puntos y no aparecieron diferencias significativas en esas medias en ninguna de las dimensiones consideradas (la pregunta con mayor puntuación media fue “*Si aumenta la temperatura del agua, ¿los objetos flotarían igual?*”, con 7,87 puntos, y la pregunta con menor puntuación fue “*¿Qué son los símbolos de Lewis?*”, con 5,07 puntos).

Lo más curioso del resultado es que, a pesar de esta falta de diferencias significativas y del escaso rango de valores promedio, la dispersión entre los jueces es relativamente grande en cada pregunta, lo que indica la variabilidad en los criterios utilizados por los jueces (la pregunta con mayor desviación típica fue “*¿Si el neutrino*

tuviese más masa, sería más fácil de detectar?”, con 2,65 puntos y un rango entre 3 y 10 puntos, y la pregunta con menor desviación típica fue *“¿por qué se producen las glaciaciones?”*, con 1,08 puntos y un rango entre 6 y 10 puntos.).

La correlación entre la puntuación del conocimiento de la respuesta y la calidad de la pregunta fue baja ($r = 0,16$) y no significativa, de manera que éste no es un criterio manejado por los profesores. Entre las razones explicitadas para cada puntuación de calidad, el más frecuente es la relación de la pregunta con el currículo y con la posibilidad de poder explicar, a partir de la pregunta, partes del contenido. La mayoría de los jueces utilizó varios criterios en la puntuación de calidad, no siempre los mismos e incluso no siempre en el mismo sentido. Hubo mucha heterogeneidad en las “razones” esgrimidas para juzgar la calidad de las preguntas.

La conclusión (provisional) de este estudio es que las dimensiones a priori usadas para juzgar la calidad de las preguntas no parecen adecuadas, y que los profesores son muy subjetivos a la hora de juzgar la calidad de una pregunta. Parece claro que de existir un conjunto de criterios científicos, bien conocidos por los profesores, el desacuerdo entre ellos sería menor y la discriminación entre la calidad de las preguntas, bastante mayor. Si se atiende a la dispersión en los juicios de cada pregunta, al mismo tiempo que a la escasa diferenciación entre valores medios para el conjunto de preguntas, se compone una imagen de un conocimiento de tipo “artístico” y no “científico” que, en términos de Wagensberg (1999), se caracteriza por la posibilidad de comunicarse a través de mensajes subjetivos ininteligibles (la comunidad de profesores parece entender rápidamente el concepto de “buena pregunta” en las conversaciones ¡aunque este concepto está “mal definido” entre ellos!) y por la dispersión en los juicios sobre cada obra de arte, aunque globalmente se acepta casi todo tipo de arte.

Si este resultado se confirmara, entenderíamos que los profesores no podrían promover buenas preguntas entre los estudiantes, ya que no tendrían criterios científicos sobre qué es una buena pregunta. Entonces, la formación de profesores debería revisarse de inmediato en este aspecto, puesto que sería incapaz, por el momento, de generar criterios didáctico-profesionales de naturaleza científica, al menos entre los profesores de física y química.

3.3.-Las preguntas de los estudiantes: dificultades en su formulación y factores explicativos

Afortunadamente, hay pruebas objetivas relativas a que la formulación de preguntas tiene efectos beneficiosos sobre la comprensión. Está bien documentado que cuando se entrena a los estudiantes para que hagan preguntas, se mejora la comprensión, el aprendizaje y la memoria (Ciardello, 1998; Craig et al, 2000; Davey y McBride, 1986; King, 1989, 1992, 1994a; Palincsar y Brown, 1984, Singer y Donlan, 1982; van der Meij, 1994). Una revisión extensa de estudios sobre el efecto de las preguntas en la comprensión realizada por Rosenshine, Meister y Chapman (1996) concluyó que la enseñanza de la estrategia de generar preguntas sobre el material que han leído los estudiantes, da lugar a aumentos en la comprensión.

3.3.1.-Los estudiantes formulan pocas preguntas en clase

A pesar del efecto importante de realizar preguntas, los estudiantes formulan muy pocas preguntas en situaciones normales de clase. Graesser y Person (1994) calcularon la frecuencia de preguntas de los estudiantes desde Jardín de Infancia hasta 12º grado y encontraron un valor promedio de 0,17 preguntas por estudiante y por hora de clase, lo que supone que el alumno típico necesita 6-7 horas de clase para formular una pregunta. Este pobre resultado ha sido encontrado en otros estudios (Dillon, 1988; Good, Slavings, Harel y Emerson, 1987). Dillon (1988) considera que la formulación de pocas preguntas en las aulas no se debe a que haya indiferencia hacia los temas tratados. Los niños pueden generar preguntas en sus propias mentes, pero no las hacen en voz alta. Incluso pueden preguntarle a sus propios compañeros de clase, pero la falta de confianza e incluso miedo a ser ridiculizados les impide formular sus preguntas. Las investigaciones de este autor respecto al estatus reparador de las preguntas de los estudiantes se han centrado principalmente en dos aspectos: a) las características de las preguntas que hacen los estudiantes y b) las condiciones en que estos estudiantes hacen dichas preguntas. En el primer caso, lo principal es conocer qué tipo de preguntas realizan los estudiantes y que información buscan encontrar a partir de esas preguntas. Este autor encontró que gran parte

de las preguntas formuladas están referidas a aspectos superficiales del tema tratado en clase. En el segundo caso, es decir, las condiciones de dichas preguntas, se encontró que existen factores cognitivos, didácticos y socioafectivos asociados para la realización de las preguntas. Se encontró además, que la frecuencia y el tipo de preguntas pueden ser mejorados por las condiciones de enseñanza, o mediante el diseño de materiales curriculares adecuados.

La falta de formulación de preguntas en el aula está en estrecha relación con la pasividad de los estudiantes hacia el aprendizaje. Específicamente, esta pasividad que manifiestan los estudiantes ha sido estudiada por Good, Slavings, Harel y Emerson (1987). Se pretendía determinar si los estudiantes iniciados en la realización de preguntas, tienen un alto o bajo potencial para aprender diferentes habilidades en la formulación de las mismas. Good y colaboradores (opus cit) desarrollaron un sistema de codificación para diferenciar nueve tipos de preguntas que realizan los estudiantes de distintos niveles, y así determinar la alta o baja habilidad de los sujetos para formular preguntas. Uno de los hallazgos de esta investigación fue que el número de preguntas realizadas por los estudiantes de todos los grados era similar. Además, las preguntas referentes a explicaciones fueron pocas, pero en cambio se encontraron muchas de procedimiento en todos los grados estudiados. Finalmente, se encontró que alumnos considerados de rendimiento escolar medio, hicieron más preguntas que los de rendimiento bajo o alto, lo cual parece asociado a factores socioafectivos referentes al “prestigio” del alumno, o la “vergüenza”.

De forma similar se ha encontrado que el nivel cognitivo asociado con la mayoría de las preguntas de los estudiantes es bajo (Dillon, 1988; Pedrosa de Jesús y Maskill, 1990). En particular, Dillon (1988) encontró que las preguntas de los estudiantes se centran principalmente en cuestiones de procedimiento como forma de cumplir con una prueba escolar o tarea. Sólo una décima parte eran preguntas que buscan información; más aún, de los 721 estudiantes observados en su estudio, sólo 8 participantes formularon preguntas que buscaban información, lo que corresponde a 1% del total. Así, se concluyó que de las 27 aulas visitadas existe poca evidencia de preguntas que buscan información. Lo que es evidente y acorde con esta investigación es que el nivel de las preguntas formuladas en clases de ciencias es demasiado bajo. Este hallazgo está acorde con lo

encontrado por Pedrosa de Jesus y Maskill (1990) sobre las prácticas de cuestionamiento en el aula de clase y su baja calidad.

Sin embargo, en situaciones no usuales, en las que se instruye a los estudiantes para que formulen preguntas o se utilizan materiales instruccionales diseñados para ello, o simplemente se les insta a que lo hagan, los estudiantes pueden realizar muchas preguntas (Roca, 2007). Graesser y Person (1994) encontraron 26,5 preguntas por estudiante y hora en tutorías individuales, aunque muy pocas de ellas reflejaban un intento de comprensión ‘profunda’ del contenido. Costa, Caldeira, Gallástegui y Otero (2000) encontraron promedios entre 3 y 4 preguntas por alumno en un tiempo inferior a una hora, en un estudio sobre preguntas formuladas ante un texto de ciencias a nivel escolar.

Dillon (1988), por su parte, ha estudiado desde “dentro” las preguntas formuladas en el aula de ciencia, encontrando que se formulan muchas preguntas. Sin embargo, dichas preguntas sólo las realiza básicamente una persona: el profesor. A pesar del efecto importante de realizar preguntas sobre el aprendizaje, los estudiantes formulan muy pocas en situaciones normales de clase y, en particular, en clases de ciencia.

3.3.2.-Varios factores explicativos condicionantes

En el trabajo de Graesser y Person (1994) y en el de Costa, Caldeira, Gallástegui y Otero (2000) se mostró que los alumnos son capaces de hacer preguntas en determinadas situaciones favorables, pero no las formulan en situaciones de clase normales. ¿Por qué sucede esto?

Una primera razón es que hacer buenas preguntas, en el sentido de preguntas asociadas con procesamiento profundo del contenido, no es bien recompensado por los profesores. Curiosamente, Alexander, Jetton, Kulilowich y Woehler (1994) encontraron que el 79% de las preguntas que los profesores formulaban a sus alumnos durante sus clases eran ‘superficiales’ porque su respuesta se encontraba recogida explícitamente en un párrafo del texto instruccional utilizado. Otros estudios revelan también que sólo el 4% de las preguntas de los profesores son preguntas ‘profundas’ (Kerry, 1987; Dillon, 1988). Es decir, si un alumno estudiara la información atendiendo únicamente a la importancia

estructural de la misma en el conjunto del tema, probablemente obtendría bajas calificaciones.

Otro factor explicativo se encuentra en la poca importancia que se da en la escuela a la capacidad de preguntar. En el sistema educativo están mucho más desarrollados los métodos para valorar la calidad de las respuestas, que los métodos que valoran la calidad de las preguntas. Algunos estudios sobre evaluación muestran una relación entre baja y moderada entre el rendimiento académico y las destrezas de control de la comprensión (Otero, Campanario y Hopkins, 1992; Campanario, García-Arista, Otero, Patricio, Costa, Prata Pina, Caldeira y Thomaz, 1994). Esta relación pobre (aunque significativa) se interpreta en relación a que los instrumentos de evaluación usados por los profesores dan poco peso a las habilidades de control de la comprensión, muy relacionadas con la formulación de preguntas.

Otras razones se encuentran en los propios alumnos. Una pregunta es un proceso que consta de 3 fases: detección (del obstáculo, de la necesidad), formulación (interna, en términos del lenguaje) y edición social (manifestación pública o ocomunicación). La primera fase depende fuertemente del control de la comprensión del sujeto y en varios estudios se ha encontrado niveles preocupantemente bajos de esta habilidad en alumnos de los últimos cursos de educación secundaria, en tareas de detectar anomalías en textos (Fernández-Rivera, Sanjosé y Otero, 2007; Otero y Campanario, 1990; Baker, 1979; Marckman, 1979) y en tareas de calibración de la comprensión (Glenberg y Epstein, 1985). Las variables personales como el nivel de rendimiento promedio de un estudiante, su motivación o su autoestima, influyen en la fase de edición social de las preguntas. Por ejemplo, Good, Slavings, Harel y Emerson (1987) encontraron que alumnos considerados como de rendimiento escolar medio, hicieron más preguntas que los de rendimiento bajo o alto, como lo hemos anotado. La autoestima parece estar en la causa de este resultado. En otro estudio, Karabenick (1996) encontró que los estudiantes juzgan la comprensión propia y ajena a través de las preguntas realizadas por los compañeros de clase.

3.4.-Estudios sobre preguntas en las aulas de ciencias experimentales

Las preguntas de los estudiantes en la educación científica se han analizado desde varias perspectivas: didáctica, epistémica, cognitiva, procedimental, etc; se han clasificado según diferentes criterios (Scardamalia y Bereiter, 1992; Watts, Gould, y Alsop, 1997; Anderson y Krathwohl, 2001; Chin y Chia, 2004); su calidad ha sido estudiada (Graesser y Person, 1994) o se han asociado a la comprensión (Chin y Brown, 2002; Harper, Etkina y Lin, 2003).

Un grupo considerable de estas investigaciones apoya la importancia de las preguntas formuladas en las aulas de ciencia para propiciar un aprendizaje profundo, así como para que estos participen y se apropien en la construcción de su propio conocimiento.

3.4.1.-Investigaciones sobre preguntas de los estudiantes en las clases de ciencias y sus consecuencias didácticas

En este apartado abordaremos las principales investigaciones desarrolladas en el ámbito de la formulación de preguntas que buscan información y sus características esenciales para la comprensión de fenómenos científicos. Existen dos grandes grupos de estos estudios: a) aquellos en los que se usan indicadores (de procedencia teórica) para elaborar taxonomías de preguntas y relacionar su mayor o menor presencia con habilidades cognitivas o metacognitivas; b) aquellos en los que las preguntas de los alumnos se relaciona con variables de rendimiento y comprensión, quizás con participación de otras variables instruccionales, socio-afectivas, etc.

Con respecto a los distintos tipos de preguntas formuladas, varias investigaciones (Scardamalia y Bereiter, 1992; Watts, Gould, y Alsop, 1997; Anderson y Krathwohl, 2001; Chin y Chia, 2004) han propuesto diversas categorías para analizar las preguntas de los estudiantes. Para Graesser y Person, (1994) y Graesser, Person y Huber (1992) las

diferentes categorías de preguntas obedecen, principalmente, a criterios conceptuales, semánticos y pragmáticos, más que a criterios sintácticos o léxicos. Scardamalia y Bereiter (1992) investigaron la capacidad de los niños de 5° y 6° grado de una escuela primaria para formular y reconocer preguntas con un potencial educativo. Identificaron dos tipos de preguntas: 1) preguntas basadas en el conocimiento, y 2) preguntas basadas en el texto.

Las preguntas formuladas basadas en el conocimiento resultaron ser más abundantes que las preguntas basadas en el texto. Por su parte, las preguntas basadas en el texto variaron entre preguntas básicas que solicitan información necesaria para la comprensión léxica, sintáctica y semántica, y las preguntas dirigidas a la resolución de discrepancias con el conocimiento previo. Estos autores consideran que el valor de distinguir entre preguntas basadas en texto y basada en el conocimiento, es empírica. Esta diferenciación tiende a producir tipos cualitativamente diferentes de preguntas, y a su vez implican diferencias en el grado en el cual los estudiantes pueden impulsar y dirigir el proceso de aprendizaje.

Graesser y Person (1994), considerando que la formulación de preguntas por parte de los estudiantes no es frecuente en ambientes de clase, analizaron el aprendizaje basado en tutorías. El propósito de este estudio era investigar las preguntas formuladas en sesiones de tutoría sobre los métodos de investigación científica (estudiantes universitarios) y cursos de álgebra (7° grado). Los resultados indicaron que las preguntas de los estudiantes fueron aproximadamente 240 veces más frecuentes en las sesiones de tutorías que en clase. Las preguntas de los tutores fueron sólo ligeramente más frecuentes que las preguntas del profesor en el aula (los tutores formularon alrededor de 1,5 veces más preguntas que las que hicieron los profesores en el aula). Finalmente, las preguntas fueron clasificadas por: (a) el grado de especificación, (b) contenido, y (c) mecanismos de generación para analizar su calidad. El rendimiento estudiantil correlacionó positivamente con la calidad de las preguntas del estudiante, pero la frecuencia de las preguntas no correlacionó con el rendimiento. En esta investigación se muestra que los estudiantes autorregularon parcialmente su aprendizaje mediante la identificación de deficiencias en su conocimiento y la formulación de preguntas para repararlas. Se encontró que el 29% de las preguntas de los estudiantes aborda algún tipo de déficit de conocimiento sobre el dominio que estaban tratando de aprender. Así, los alumnos con mayor déficit de conocimientos terminaron

formulando más preguntas. Finalmente, hubo algunas pruebas débiles de que el logro del estudiante se correlacionó positivamente con la proporción de preguntas formuladas para salvar déficit de conocimientos. Estos autores concluyeron que las tutorías proporcionan un contexto social, cognitivo y pedagógico para que los estudiantes adquieran un mayor control sobre su aprendizaje y para corregir sus déficits de conocimientos.

Watts, Gould, y Alsop (1997), identificaron tres categorías de preguntas formuladas por los estudiantes: de consolidación, exploración y elaboración. En las preguntas de consolidación, los alumnos “(..) *intentan decir lo que piensan, aclarar la razón de las tareas en el aula, confirmar explicaciones y consolidar la comprensión de las nuevas ideas (...)*” (p. 59). En las preguntas de exploración, los estudiantes “() *buscan expandir ambos constructos de saber y comprobar que se han formado ()*” (p. 59). En las de elaboración, el cuestionamiento es para examinar las “() *demandas y contrademandas, ampliando y desafiando a la vez sus conocimientos previos y experiencias que se presenta a ellos (...)*” (p. 59).

Otero y Graesser (2001) utilizaron la teoría de comprensión de textos de Kintsch y colaboradores (Kintsch, 1998) para elaborar una sencilla taxonomía de preguntas que buscan información. Dado que este tipo de preguntas surgen tras un proceso metacognitivo de control de la propia comprensión, las preguntas deberían poder asociarse a uno de los 3 niveles de comprensión postulados por la teoría: superficie o nivel de palabra (nivel léxico), base del texto o nivel semántico (significados), y modelo de la situación (nivel referencial), en el que la imposibilidad de vincular la información textual con el conocimiento previo es la principal fuente de preguntas.

Hartford y Good, (1982) realizaron un estudio en el que entrenaban a estudiantes de química de educación secundaria a formular preguntas de investigación en el contexto de sus experimentos de laboratorio. El efecto del desarrollo intelectual de los sujetos sobre el aprendizaje de habilidades de cuestionamiento fue controlado. El número y la calidad de las preguntas de investigación de los estudiantes se midió con el *Science Inquiry Assessment Instrument*. De igual forma, el desarrollo intelectual de los estudiantes se midió con el instrumento *the Classroom Test of Formal Operations*. Se concluyó que las habilidades de cuestionamiento en las aulas de ciencias pueden ser mejoradas mediante un

conjunto de actividades de clase regularmente programadas vinculadas con el trabajo de laboratorio con independencia de su nivel de desarrollo intelectual.

Tobin y Gallagher (1987), investigaron las interacciones de toda una clase, a través de 200 lecciones de ciencias. En este estudio, participaron 15 profesores y, estudiantes de los grados 8 a 12 de dos escuelas secundarias urbanas australianas. Un número relativamente pequeño de 3-7 estudiantes fueron el foco de atención de las interacciones en toda la clase. Estos estudiantes se mostraron interesados en todas las clases y regularmente contribuyeron al discurso en el aula, elevando sus manos, haciendo preguntas y diciendo en voz alta las respuestas. En comparación con otros de la clase, ese pequeño grupo de alumnos formularon más preguntas al profesor. Asimismo, estos alumnos fueron llamados a responder a las preguntas de nivel cognitivo superior, y recibieron mayor retroalimentación de calidad por parte del profesor. También se pudo constatar que los maestros responden de manera muy diferente en función de quién les pregunta, es decir, si el profesor considera que el alumno que les pregunta tiene un nivel elevado en la materia, le responde con cierta profundidad, de lo contrario la respuesta es más superficial.

King (1994), trabajó con parejas de alumnos de cuarto y quinto grado en clases de ciencias y les propuso formularse preguntas y también responder las cuestiones generadas por el otro. En una condición experimental se utilizaron preguntas destinadas a promover las conexiones entre las ideas dentro de una lección para iniciar y guiar las discusiones de los alumnos. Una segunda condición experimental utilizó preguntas destinadas a acceder a los conocimientos previos/experiencia de los estudiantes, y a promover conexiones entre lo enseñado y ese conocimiento previo. Todos los estudiantes fueron entrenados para generar explicaciones (una manifestación de la construcción del conocimiento complejo). El análisis de los mapas de conocimiento post-lección y las interacciones verbales durante el estudio mostró que los estudiantes capaces de formular buenas preguntas para activar y conectar su conocimiento previo con el material instruccional, elaboraron un conocimiento más complejo que el resto de alumnos. La conclusión fue que, si bien todos los tipos de preguntas inducen la construcción del conocimiento, las preguntas diseñadas para acceder a los conocimientos previos/experiencia son más eficaces para mejorar el aprendizaje.

Pedrosa de Jesús y Maskill (1997) estudiaron un método para obtener información sobre las dificultades de aprendizaje de los alumnos mediante preguntas que formulan

acerca de lo que están seguros de encontrar o sobre lo que tienen dificultad. Alumnos de seis clases de educación secundaria de Portugal, con edades entre 15-16 participaron en un estudio, cuyos temas de clase eran los conceptos de calor, energía y la temperatura. Se obtuvieron 558 preguntas que fueron formuladas por 183 alumnos. Las preguntas revelan la presencia de la mayoría de los marcos alternativos más conocidos para la explicación de estos temas. Sin embargo, la gran mayoría de las preguntas, el 85 por ciento, no se basaban en marcos alternativos, sino que surgió de la necesidad de una explicación mejor y más clara de las interconexiones lógicas en el tema. Los hallazgos sugieren implementar una organización lógica de la materia que, en general, es una mejor base de marcos alternativos para la enseñanza de este tema. Los resultados generales muestran que los alumnos de estas aulas tenían preguntas que hacer y fueron capaces de hacerlas. La mayoría de las preguntas tenían sentido. Además, en la mayoría de los casos los alumnos “no sabían lo que sabían” y fueron capaces de expresarlo. El análisis de las preguntas sugiere que la mayor parte de las incertidumbres de los alumnos no muestran los marcos alternativos descritos en la literatura. Sólo 86 preguntas (15 por ciento) revelan explícitamente marcos alternativos. La gran mayoría de las preguntas parece reflejar las incertidumbres relacionadas con el insuficiente conocimiento previo acerca de los conceptos difíciles, y los conceptos complejos y abstractos. Esto en consonancia con lo encontrado por Graesser y Pearson (1994), respecto a que el déficit de conocimiento es una de las variables responsables para la formulación de preguntas por los estudiantes.

Costa, Caldeira, Gallástegui y Otero (2000), en su investigación muestran los resultados de un estudio centrado en las preguntas formuladas para corregir déficits de conocimiento declarativo mientras que los lectores procesan textos de ciencias que explican fenómenos naturales. En primer lugar, los autores se centraron en averiguar qué tipo de preguntas son formuladas por los estudiantes que leen estos textos y, en segundo lugar, cómo la tarea demandada influye en la cantidad y calidad de las preguntas formuladas. Un total de 289 estudiantes portugueses de 8º, 10º y 12º grados en 4 escuelas, participaron en el estudio. Se pidió a los alumnos que leyeran los textos de ciencias y formularan todas las preguntas que requiriesen para poder comprender el contenido de los textos. Tres condiciones de trabajo fueron consideradas: en la condición "Clase", la tarea se presentó como una actividad dirigida a desarrollar la capacidad para formular preguntas. En la condición "Examen", la tarea se presentó como una prueba específica sobre la

capacidad de generación de preguntas. Por último, en la condición "Extra-académica" la tarea de cuestionamiento fue presentada como una participación en un proyecto de investigación patrocinado por el Ministerio de Educación, y orientada a la mejora de los libros de texto de ciencias. Los resultados mostraron que los estudiantes son capaces de formular muchas preguntas cuando se les da la oportunidad de hacerlo. El estudio también confirmó que los estudiantes son capaces de generar un gran porcentaje de preguntas de antecedente causal. Más del 50% de estas preguntas eran preguntas de razonamiento profundo (es decir, asociadas a inferencias para la elaboración del modelo de la situación). Estas cifras son mucho mayores que los reportados en la literatura para situaciones de clase normales. No hubo diferencias claras entre condiciones o niveles educativos.

Cuccio-Schirripa y Steiner (2000), analizaron los efectos de instruir a los estudiantes en la estrategia de formular *preguntas investigables (researchable questions)* sobre el rendimiento en temas de ciencias. Se diferenciaron temas con un alto y bajo interés para cada estudiante. Cada estudiante completó el *Middle School Students' Science Topic Interest Rating Scale* seleccionando dos temas en los que estaban menos interesados y dos temas en los que estaban más interesados. Las preguntas fueron calificadas mediante los cuatro niveles descritos por el *Middle School Students' Science Question Rating Scale*. Los resultados indican que los estudiantes que recibieron instrucción superaron a los estudiantes que no fueron instruidos. Los estudiantes formulan más preguntas cuando los tópicos de estudio son de alto interés para ellos, que cuando no lo son.

Chin y Brown (2002), realizaron un estudio para (a) identificar los tipos de preguntas que los estudiantes formulan durante el aprendizaje de las ciencias, (b) explicar el papel de las preguntas de los estudiantes en el proceso de construcción del conocimiento, especialmente en el discurso educativo, (c) investigar la relación entre las preguntas de los estudiantes y sus estilos de aprendizaje, y (d) discutir algunos temas emergentes relacionados con el cuestionamiento del alumno. Se observaron seis estudiantes de 8° grado durante las actividades de clase y se entrevistaron antes y después de la instrucción sobre los conceptos relacionados con la ciencia. Los hallazgos indican que la mayoría de las preguntas de los estudiantes se dirigen sobre todo a recabar información básica (factual y procedimental) y se asocian con un enfoque superficial de aprendizaje, aunque también aparecieron otros tipos de preguntas indicativas de un

enfoque profundo (comprensión, predicción, detección de anomalías, la aplicación y la planificación) en menor proporción. Las preguntas superficiales generaron poca discusión productiva. Las preguntas profundas estimularon a los estudiantes a hipotetizar, predecir, imaginar experimentos, y a generar explicaciones y fueron asociadas a un estado de asombro o perplejidad. Las actividades de resolución de problemas provocaron un mayor número de preguntas profundas que otras actividades fuertemente dirigidas por el maestro..

Pascual y Goikoetxea (2002) investigaron los efectos sobre la comprensión lectora que tienen las estrategias de resumen y formulación de preguntas. Para desarrollar el estudio, 27 niños fueron instruidos en la técnica del resumen, 28 en formulación de preguntas y 51 sirvieron como grupo control. Los hallazgos muestran que en textos de estructura clara, los grupos entrenados obtuvieron mejor comprensión que el grupo de comparación; y en textos de estructura poco clara el grupo que formuló preguntas logró mejores resultados que el grupo de comparación. Estos hallazgos parecen apoyar la importancia del desarrollo en estrategias metacognitivas mediante instrucción desde edades tempranas, como otros estudios anteriores (Currie, 1999; Veerman, Van Hout-Wolters, y Afferbach, 2006; Ibañez y García-Madruga, 2012).

Harper, Etkina, y Lin (2003), por su parte, centraron su trabajo en un curso semestral de física introductorio para estudiantes universitarios. Los estudiantes debían leer un artículo de investigación de una revista seleccionada cada semana y formular preguntas sobre el material leído. La idea era identificar el nivel de comprensión de cada uno. Las preguntas resultantes fueron recogidas y codificadas de acuerdo con la dificultad del tema. Los hallazgos indican que la incorporación de los artículos de investigación permite la formulación de más preguntas que lo observado típicamente en un aula de clase. Principalmente, se generaron más preguntas de alto nivel cognitivo que están relacionadas con una mayor comprensión de la materia.

Greasser y Olde (2003) investigaron la influencia del conocimiento previo en la generación de preguntas de comprensión cuando las personas se enfrentan a un dispositivo averiado. Se predijo que las preguntas se generan cuando una persona que intenta comprender experimenta un desequilibrio cognitivo. Este desequilibrio es provocado por contradicciones, eventos anómalos, obstáculos hacia la meta, contrastes sobresalientes, e

incertidumbre. Se suministraron textos a los sujetos en los que se mostraban dispositivos (por ejemplo, una cerradura de cilindro) estropeados (p.e. se introduce la llave, pero el cilindro no se mueve) y se solicitaba a los lectores formular preguntas para su reparación. Los estudiantes completaron posteriormente una prueba de comprensión sobre los dispositivos, seguido por una serie de pruebas de habilidad cognitiva. Los resultados indicaron que los expertos (con una comprensión más profunda del dispositivo) no formularon más preguntas, pero sí generaron una mayor proporción de buenas preguntas es decir, preguntas que realmente abordaron los fallos que explican las averías y podrían permitir repararlas. De acuerdo con este estudio, una excelente prueba de comprensión profunda es la calidad de las preguntas formuladas cuando se enfrentan a una situación de ruptura de un dispositivo físico.

Chin y Chia (2004) estudiaron el Aprendizaje Basado en Problemas (PBL, por sus siglas en inglés), usando las preguntas de 39 estudiantes de noveno grado de una clase de biología para conducir la construcción del conocimiento. Encontraron que las tipologías de preguntas generadas individualmente por los estudiantes eran de cuatro tipos: a) de validación de creencias comunes y preconcepciones, b) de información básica, c) de explicación, y d) de escenarios imaginados, es decir, preguntas de tipo “si-entonces”. La mayoría de las preguntas de los estudiantes fueron inspiradas por factores externos a la escuela. Las ideas relacionadas con las experiencias personales y con preocupaciones por familiares crearon una importante proporción de preguntas profundas, mientras que las cuestiones derivadas del currículo escolar fueron superficiales, asociadas a información básica. Estos resultados implican que las experiencias de los estudiantes fuera de la escuela ofrecen ricas oportunidades en la activación de su aprendizaje, y los maestros deben aprovechar este enorme potencial en lo posible.

Chin (2004), en un estudio sobre preguntas de los estudiantes para el fomento de la cultura de la curiosidad en las clases de ciencias, considera que las preguntas pueden ser el origen de una actividad indagadora en la clase de ciencias (*Inquiry Learning*). Se reconoce que las preguntas dan sentido al aprendizaje y se convierten en piedra angular de la investigación científica. Desde el punto de vista psicológico dirigen el pensamiento en una dirección específica, para la construcción de representaciones mentales, ayudan a los alumnos a anticipar la comprensión de las ideas científicas acerca de diferentes fenómenos

y estimulan a los estudiantes a generar explicaciones, entre otros elementos. Más tarde, Chin (2006) estudió las habilidades de procesamiento de los alumnos mediante el auto-cuestionamiento. Encontró que la capacidad para formular preguntas puede provocar y promover el pensamiento auto-regulado y reflexivo, y fomentar el pensamiento crítico en los alumnos.

Sullins, Witherspoon, y Gholson (2006), investigaron el impacto del diálogo y de las preguntas de nivel de razonamiento profundo sobre el aprendizaje indirecto en dos estudios con alumnos de pregrado. En el experimento, los participantes usaron un material en 5 condiciones experimentales: a) interactuar con un Auto-Tutor; b) visualizar una versión no interactiva del dialogo con el AutoTutor; c) visualizar un diálogo con preguntas de nivel de razonamiento profundo anterior a cada frase; d) visualizar un diálogo con preguntas de nivel de razonamiento profundo en la mitad de la frase; e) visualizar un monólogo. Los estudiantes en la condición en que las preguntas de nivel de razonamiento profundo precedió a cada frase del material de aprendizaje, superó con creces a los de las otras cuatro condiciones. Las diferencias entre los pretest y los posttest de efecto de tamaño grande, mostraron un efecto positivo de insertar preguntas de nivel de razonamiento profundo en el contenido educativo.

Roca (2007) desarrolló una tesis doctoral sobre preguntas en el aprendizaje de las ciencias, algunos de cuyos objetivos básicos fueron determinar las consecuencias que pueden tener las preguntas en los procesos de enseñanza aprendizaje, y analizar y distinguir las preguntas que favorecen el aprendizaje. Entre otros hallazgos Roca encontró que las preguntas que más ayudan a aprender ciencias son aquellas que demandan explicaciones causales, las que explicitan déficit en la explicación de un fenómeno, aquellas que demandan una descripción inconclusa, así como aquellas que buscan establecer semejanzas y diferencias entre fenómenos..

Chin y Osborne (2008) realizaron una cuidadosa revisión sobre el uso de las preguntas como recurso potencial para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Se concluyó que las preguntas de los estudiantes les pueden ayudar a controlar su propio aprendizaje, explorar y organizar sus ideas, dirigir el pensamiento en ciertas direcciones específicas y avanzar en su comprensión de conceptos y fenómenos científicos. Los profesores podrían utilizar estas preguntas como indicativo de problemas de aprendizaje de

los estudiantes, proporcionándoles información de diagnóstico acerca de sus elaboraciones mentales. Los resultados de esta revisión muestran que la enseñanza explícita de habilidades de cuestionamiento de los estudiantes parece conducir a un mejor rendimiento en tareas relacionadas con el aprendizaje profundo de las ciencias, entre las cuales se incluyen la comprensión lectora de textos de ciencias, la formulación de preguntas de investigación para la educación científica, y la mejora en el diseño de material de aprendizaje de nuevos contenidos a través de grupos de discusión.

Gholson, Craig, Brittingham, Germany, y Fike (2009) investigaron el efecto de las preguntas en el razonamiento profundo con alumnos de octavo a undécimo grado en ámbitos de la informática y la física newtoniana. Los hallazgos indican que se facilita el aprendizaje y la comprensión cuando los materiales se organizan en torno a preguntas que invitan a un razonamiento profundo, como es el caso del material científico.

Las preguntas de los estudiantes se han relacionado con los procesos de comunicación y argumentación en las aulas de ciencias. Desde esta perspectiva, las preguntas generadas por los alumnos en el aula son muy importantes porque fomentan la comunicación entre iguales, así como con el profesor, generando las condiciones para una mejor comprensión de los fenómenos estudiados. Por ejemplo, Chin y Osborne (2010) realizaron un estudio para saber cómo las preguntas generadas por los estudiantes pueden apoyar la argumentación en las clases de ciencias. Se trabajó con estudiantes entre 12 y 14 años de cuatro grupos diferentes de. Se les pidió discutir cuál de dos gráficos que mostraban el cambio en la temperatura con el tiempo cuando el hielo se calienta a vapor era correcto. Primero escribieron sus preguntas acerca del fenómeno. Luego, trabajaron en grupos y discutieron posibles respuestas. Para ayudarles a estructurar sus argumentos, se les proporcionó una hoja con instrucciones y otra hoja para representar sus argumentos de forma esquemática. Un grupo de estudiantes de cada clase fue grabado. Los datos de ambos trabajos escritos de los estudiantes y el discurso oral grabado fueron analizados en relación con los tipos de preguntas formuladas. Se concluyó que el cuestionamiento de los estudiantes es necesario para que se genere una argumentación productiva en el aprendizaje de contenidos científicos.

3.4.2.- Preguntas de los profesores en las aulas de ciencias

Como se ha dicho al principio, las preguntas más frecuentes en las aulas son formuladas por profesores. La investigación ha mostrado que muchas veces cumplen una función didáctica clara. Revisamos algunos trabajos al respecto.

Rowe (1987) ha encontrado que los maestros en todos los niveles, cuando hacen preguntas suelen esperar menos de un segundo antes de empezar a hablar de nuevo, lo que impide a los estudiantes encontrar y producir una respuesta. Se encontró además, que cuando el tiempo de espera se aumentó de tres a cinco segundos, los estudiantes son más propensos a responder, así como responder de forma más completa. Para Rowe (1987) el número de estudiantes que logra intervenir también aumenta, generando más preguntas. Por lo tanto, parece que cuanto más se limitan las preguntas en número y más se limita el tiempo para responderlas, menos participación encontramos. Similares resultados encontró Tobin (1987) cuando el tiempo de espera aumenta después de la formulación de la pregunta. Este autor afirma que cuando los maestros esperan pacientemente en silencio durante 3 segundos o más, ocurren cambios positivos. Según este trabajo, las estrategias de cuestionamiento de los profesores deberían ser más variadas y flexibles, disminuir la cantidad e incrementar la calidad y variedad de las preguntas, formulando preguntas que requieren procesamiento de información más compleja y pensamiento de orden superior por parte de los estudiantes.

Kerry (1987) ha mostrado que sólo un 4% de las preguntas formuladas por los profesores son preguntas profundas, lo cual también ha sido encontrado por Dillon (1988). En este sentido, la mayoría de los maestros no parecen buenos modelos a seguir para aprender a formular buenas preguntas.

En el estudio realizado por Dillon (1988) se muestra que la mayoría de las preguntas formuladas en el aula son realizadas por el profesor. En el contexto de la educación en ciencias, estas preguntas suponen un porcentaje elevado de la clase. De igual forma, se muestra que las preguntas formuladas por los profesores, más que para privilegiar una comprensión profunda por parte de los estudiantes, buscan seguir el desarrollo predeterminado de la clase.

Como se adelantó al comienzo del capítulo, Alexander, Jetton, Kulilowich y Woehler (1994) investigaron la naturaleza de las preguntas del docente y su relación con lo que los alumnos consideran importante. A partir de un texto para la enseñanza de un contenido, se pidió a los profesores que elaborasen preguntas de evaluación sobre el mismo. Se encontró que el 79% de las preguntas que los profesores formulaban estaban respondidas explícitamente en un párrafo concreto del texto con lo que bastaba un procesamiento superficial del contenido para responderlas correctamente. Los resultados apoyaron la hipótesis de que los estudiantes son conscientes del tipo de aprendizaje que los profesores valoran y parecen guiarse por ello a la hora de focalizar el esfuerzo por aprender.

Blosser (1995) realizó una clasificación de las preguntas formuladas en el aula de ciencias por los profesores. El autor diferenció los usos más frecuentes de las preguntas en las aulas: para ayudar a los estudiantes revisar el avance de su conocimiento, para comprobar su comprensión, para estimular el pensamiento crítico, para fomentar la creatividad, para enfatizar un aspecto determinado del contenido, para controlar las actividades de clase y reducir comportamientos inadecuados, para desalentar falta de atención y para fomentar la discusión.

Vidal-Abarca, Rouet y Gilabert (2005) analizaron el papel que tienen las preguntas intercaladas en los textos de ciencias sobre la comprensión, y encontraron que estas preguntas tienen un efecto positivo sobre el aprendizaje de fenómenos científicos. Determinaron que el objetivo de estas preguntas suele ser doble. Por una parte, hacen que los alumnos aprendan con mayor profundidad una determinada información y que pongan en marcha procesos mentales específicos que se consideran valiosos desde el punto de vista de la ciencia (p.e., explicar fenómenos, razonar inductiva o deductivamente, realizar inferencias, etc.). Por otra parte, ayudan a que el estudiante y también el profesor, puedan evaluar hasta qué punto la información ha sido bien entendida, cumpliendo de esta forma una función didáctica para mejorar el aprendizaje de los mismos. Esto concuerda con el hecho investigado de que el acto de generar y formular preguntas centra la atención de los estudiantes sobre el contenido, las ideas principales, y comprueba si el material ha sido comprendido (Rosenshine, Meister, y Chapman, 1996).

Erdogan y Campbell (2008) investigaron el impacto de las preguntas del profesor, los tipos de pregunta, y los patrones de interacción desde una perspectiva constructivista. Los hallazgos indican que los profesores que privilegian un aprendizaje constructivista permiten la formulación de un número mayor de preguntas que aquellos que no lo hacen. Además, esos profesores utilizaron un número significativamente mayor de preguntas abiertas, en comparación con otros tipos de preguntas (preguntas cerradas y preguntas orientadas a tareas) del resto.

3.5.- Ideas principales encontradas en la revisión bibliográfica

En este capítulo se han descrito investigaciones que muestran la importancia de las preguntas de los estudiantes para el aprendizaje de las ciencias. El primer resultado importante es que las investigaciones señalan que las preguntas formuladas por los alumnos les ayudan a controlar su propio aprendizaje y también a mejorar la comprensión de los conceptos y fenómenos científicos, y ayudan a los profesores a determinar los déficits de comprensión de sus alumnos. De este modo, las investigaciones en el ámbito de las ciencias convergen con otros estudios de ámbito más amplio en donde se muestra que el control de la propia comprensión tiene un impacto grande en el aprendizaje (Wang, Haertel y Walberg, 1993; Rosenshine, Meister, y Chapman, 1996). Esto otorga importancia a la investigación didáctica que estimule la generación de (buenas) preguntas, como se hace en esta tesis.

El segundo resultado interesante se refiere a los tipos de preguntas que se formulan. La mayoría de las preguntas que se formulan en las aulas son preguntas superficiales y retóricas, es decir, preguntas que no se asocian con un alto nivel cognitivo en el procesamiento del contenido, sino más bien se asocian al intento de su recuerdo memorístico. Las preguntas que se derivan de procesos inferenciales para elaborar el contenido son poco habituales en las aulas. Sin embargo, en condiciones apropiadas, las preguntas profundas más frecuentes formuladas son las asociadas con la causalidad y las comparaciones entre fenómenos. Otra idea importante derivada de algunos trabajos es que, si bien todos los tipos de preguntas inducen la construcción del conocimiento, las

preguntas que implican la activación de los conocimientos previos y/o experiencia son las que mejoran más el aprendizaje. Por tanto, las “buenas preguntas” que deben ser estimuladas en las aulas de ciencias son precisamente aquellas que implican la activación del conocimiento previo del sujeto en un intento por relacionar la información suministrada con la él tenía antes, y que implican causalidad y otros procesos cognitivos de alto nivel, como las comparaciones entre rasgos o características entre objetos o fenómenos. Ese estímulo implica primero conocer qué factores desencadenan unos u otros tipos de preguntas en los estudiantes, algo que se aborda en esta tesis.

Por último, se ha probado en ciertas investigaciones didácticas que la habilidad de cuestionamiento y auto-cuestionamiento se puede aprender mediante instrucción específica en el aula, permitiendo a los estudiantes un mejor rendimiento en la comprensión y en el aprendizaje. Por tanto, sería conveniente introducir en los procedimientos instruccionales un espacio para enseñar a los estudiantes a generar (buenas) preguntas.

En cuanto a las preguntas formuladas por los propios profesores en las aulas, aunque frecuentes, son usualmente retóricas (es decir, no están destinadas a que los alumnos reelaboren sus representaciones mentales) y, presentan un bajo nivel cognitivo (ver Tabla 3.1). En general, más que buscar la activación de procesos cognitivos profundo en los alumnos, se busca seguir un esquema mental predeterminado por parte del profesor. A la hora de usar preguntas para evaluar el aprendizaje, muchos profesores optan por preguntas superficiales, asociadas con ideas no-principales del contenido enseñado (Alexander et al., 1994). Sin embargo, los alumnos se guían fuertemente por dichas preguntas para focalizar sus aprendizajes. Esto tiene dos consecuencias,. Por un lado, el mal ejemplo de los profesores a la hora de formular preguntas de baja exigencia cognitiva, induce a sus estudiantes a concentrar su atención en procesar superficialmente el contenido de aprendizaje. Por otro lado, si se planifica y cuida el tipo de preguntas que se insertan en la instrucción, el efecto que se produce es muy beneficioso, porque se orienta los esfuerzos de los estudiantes hacia el procesamiento adecuado del contenido.

CAPÍTULO 4

Bases Cognitivas de la Generación de Preguntas

4.1.-Introducción

Hemos visto en el capítulo anterior que los estudiantes son capaces de realizar abundantes preguntas, cuando son invitados a ello o cuando la tarea lo requiere. Estas situaciones no son las usuales de las aulas. Identificando las variables que facilitan las preguntas bajo esas condiciones ‘especiales’, quizás podamos aprender cómo fomentar la formulación de buenas preguntas en las aulas de ciencias. Por eso nuestro interés se dirige, en especial, hacia la investigación de cuáles son las circunstancias que favorecen las preguntas. Para ello, necesitamos saber cuáles son los mecanismos que subyacen en la generación de preguntas.

Una revisión de los estudios psicológicos sobre preguntas puede encontrarse en Graesser, McMahan y Johnson (1994). Estos autores diferencian 4 clases de preguntas formuladas en conversaciones que tienen lugar en contextos naturales. Son las preguntas dirigidas a: a) solventar déficits de conocimiento; b) examinar conocimiento común; c) coordinar acciones sociales; d) controlar la conversación y la atención. Aunque todas ellas juegan un papel importante en la vida diaria, desde el punto de vista del aprendizaje el primer tipo de preguntas es el más interesante. Este tipo de preguntas han sido escogidas por muchos autores como ‘prototípicas’, ‘sinceras’ o ‘genuinas’ (Berlyne y Frommer, 1966; Flammer, 1981; Otero y Graesser, 2001; Ram, 1991; Van der Meij, 1994).

Hace ya casi 30 años que se reconoció la relación entre la formulación de preguntas dirigidas a salvar déficits de conocimiento y el control y la regulación del propio aprendizaje. Según Gavelek y Raphael (1985, p.114) “() *la formulación de preguntas representa uno de los primeros medios mediante el cual los individuos son capaces de avanzar en su propia comprensión y, como tal, representa una poderosa actividad metacognitiva*”, es decir, generar preguntas en las aulas con el fin de obtener información para comprender mejor es una consecuencia de la actividad metacognitiva del sujeto. O, dicho de otro modo, una pregunta destinada a obtener información (en adelante “ISQ” que corresponde a “Information Seeking Questions” en inglés) se genera a partir de la conciencia de incompreensión del sujeto y de su deseo de reparar dicha situación mediante la acción específica que supone elaborar y editar una pregunta apropiada. Por tanto, en la

génesis de una ISQ interviene la comprensión (su ausencia), y la conciencia del propio sujeto de esa falta de comprensión (que depende del control de la comprensión). Repasaremos someramente estos dos grandes aspectos cognitivos, para tratar, al final, algunos modelos de generación de preguntas basados en ellos.

4.2.-La comprensión de la información

Se acepta que comprender implica elaborar representaciones mentales de la información que se suministra, bien a través de símbolos (como los lenguajes), bien a partir de modelos icónicos de la realidad, bien a partir de la realidad misma.

4.2.1.-El modelo de Kintsch y colaboradores

Uno de los modelos de comprensión de la información de mayor aceptación es el que elaboraron a lo largo de dos décadas Kintsch y diversos colaboradores, (Kintsch y van Dijk, 1978; van Dijk y Kintsch, 1983; Kintsch, 1998). Este modelo se creó para estudiar la comprensión de textos (aunque puede extenderse a cualquier formato de información mediada por el lenguaje), y ha ido incorporando nuevos elementos (Ericsson y Kintsch, 1995) y extendiéndose para explicar la comprensión de otros tipos de información no textual, como la comprensión de problemas matemáticos (Kintsch y Greeno, 1985).

Kintsch y colaboradores proponen un modelo de comprensión basado en las siguientes asunciones:

a) El procesamiento del contenido de un texto se realiza mediante las proposiciones del mismo, es decir, de las unidades simbólicas que representan los significados del discurso.

b) El procesamiento de un texto se realiza en ciclos. En cada ciclo solo puede procesarse un fragmento pequeño de información (por ejemplo, una frase), debido a las limitaciones de capacidad de la memoria de trabajo.

c) Al finalizar un ciclo de procesamiento, las proposiciones más importantes (más activadas, más conectadas, más relacionadas con el resto) permanecerán en la memoria de

trabajo para ser procesadas en el ciclo siguiente. Esto permite conectar la información precedente con la posterior y hacer posible, de este modo, la elaboración de una representación global del texto coherente. Algunos estudios (por ejemplo, Kintsch 1974) demuestran que las proposiciones que están situadas más altas en la jerarquía se recuerdan mejor que las que están situadas en la parte más baja. Esto se ha denominado “efecto de los niveles” (van Dijk y Kintsch, 1983). El resto de proposiciones serán almacenadas en la memoria a largo plazo o simplemente, rechazadas y olvidadas.

Sobre esta base, Kintsch y van Dijk proponen tres niveles de representación mental del significado de un mensaje, según la procedencia de los elementos y de las conexiones que los constituyen y que cumplen, asimismo, diversas funciones en el proceso global de comprensión: la representación Superficial, la Base del Texto o representación semántica y el Modelo de la Situación o representación referencial del mensaje.

La representación Superficial o léxica es construida a partir de las palabras utilizadas explícitamente para transmitir la información y de las relaciones gramaticales entre los constituyentes de la oración, conservando la sintaxis en su forma literal. Es una representación de bajo nivel, dependiente fuertemente del conocimiento léxico del lector. Esta representación del texto en la memoria es transitoria y desaparece en algunos minutos (Donovan y Bransford, 2005), a no ser que haya un propósito deliberado para memorizar literalmente el texto, lo cual exige mucha repetición.

La Base de Texto es un nivel de representación que integra las relaciones semánticas entre las diferentes ideas textuales explícitas, y es independiente del código lingüístico superficial (p. e. sinónimos, tiempo, voz, aspecto, etc.) pues depende de los significados y no de las formas gramaticales. Para su construcción el lector debe atender a la información esencial, las relaciones retóricas entre las ideas del texto y debe detectar la cohesión o coherencia entre esas ideas (Martínez et al, 2008). Kintsch (1974, 1978) ha defendido la existencia de unidades de significado en el lenguaje, que son las proposiciones. La base del texto estaría formada por el conjunto de proposiciones del texto y de sus relaciones. Se trata de una representación mental que se mantiene en la memoria varias horas (Donovan y Bransford, 2005).

Estrictamente hablando la representación de la información, definida en términos de conceptos y proposiciones no nos permite manejar una dimensión tan fundamental como es la de la coherencia o la correferencia, ni, de manera más general, las relaciones condicionales entre los hechos (van Dijk, 1993, Barsalou, 2007). Para resolver lo anterior, surge la noción de modelo mental o Modelo de la Situación (Johnson-Laird, 1983, van Dijk y Kintsch, 1983; Kintsch, 1998). Para Kintsch y van Dijk (1983). El Modelo de la Situación es concebido como una representación cognitiva de acontecimientos, acciones y, en general, de las situaciones más allá de los significados de las ideas individuales del texto. En el Modelo de la Situación el lector iría más allá del propio discurso, puesto que incorpora sus conocimientos previos y los integra con la información suministrada vía inferencias. Esta representación mental es la que permanece largo tiempo en la memoria (Donovan y Bransford, 2005).

Pero las teorías científicas manejan entidades que no son directamente aprehensibles por los sentidos, ni forman parte del mundo ordinario. Este es el caso de los átomos, la energía, los ecosistemas o las ecuaciones. La enseñanza de las ciencias en sus niveles intermedios y superiores incluye la descripción de fenómenos en términos teóricos-abstractos, así como de sus causas y consecuencias. Es difícil aceptar que una persona comprende las ciencias si no es capaz de manejar de forma adecuada este tipo de entidades abstractas. Aún más, las ciencias necesitan formalizar y cuantificar sus propuestas en términos matemáticos. Para cubrir esta necesidad, Greeno y Kintsch (1985) postularon una representación mental adicional al Modelo de la Situación: el Modelo del Problema, que es una representación mental abstracta y por tanto mantiene una diferencia de naturaleza ontológica con el Modelo de la Situación, ya que no está constituida por elementos concretos, sino abstractos. Esta representación fue usada para tratar de explicar cómo se procesan los problemas aritméticos sencillos con enunciado verbal (textual) (Riley, Greeno, y Heller, 1983). Nathan, Kintsch y Young, (1992) usaron el modelo de Kintsch y van Dijk ampliado con el Modelo del Problema, para simular la construcción de representaciones cognoscitivas que incluyen la información sobre procedimientos de resolución de problemas, y predecir razonablemente la dificultad de problemas atendiendo a las diferencias de procesamiento.

4.2.2.-Comprensión de la información científica: el modelo de Greeno

Greeno (1989) consideró que el modelo anterior no era suficiente para dar cuenta de los procesos de comprensión en ciencias y matemáticas, y propuso cuatro niveles de representación mental. En primer lugar, el *nivel de representación concreto* de objetos físicos y eventos. Este nivel corresponde aproximadamente al modelo de la situación de van Dijk y Kintsch. El *nivel abstracto* (o *representación científica*), considera las leyes, principios y conceptos propios de las ciencias o de las matemáticas. El *nivel simbólico* incluye las representaciones mediadas por símbolos del lenguaje, bien ordinario (palabras y frases), bien matemático o lógico. Se postula también el nivel de representación llamado *modelos de la realidad*, asociado a gráficos y dibujos esquemáticos en los que se representan los elementos considerados importantes de la situación, incluyendo figuraciones de la realidad concreta y otros elementos abstractos (teóricos).

Estas representaciones permiten la modelización física de la realidad, y también la formalización matemática de las representaciones físicas. También permiten sus operaciones inversas, como es interpretar científicamente un resultado matemático o proporcionar ejemplos en el mundo ordinario de una situación física concreta. Un experto se caracteriza por ser capaz de construir estas cuatro representaciones de una situación de la realidad y, además, transitar entre ellas conectándolas de modo coherente (Chekuri y Markle, 2004). Greeno (1989) construye una formalización funcional de todos los procesos constructivos y relacionales dentro y entre niveles de representación, como muestra la Figura 4.1.

Cada nivel consta de dos subniveles o capas (capa “a” en la parte inferior y capa “b” en la parte superior de la figura 1.1). La capa a contiene elementos o ítems independientes, mientras que la capa b contiene estructuras combinadas de elementos significativos asociados al subnivel a. La función θ representa la correspondencia entre a y b dentro de cada dominio.

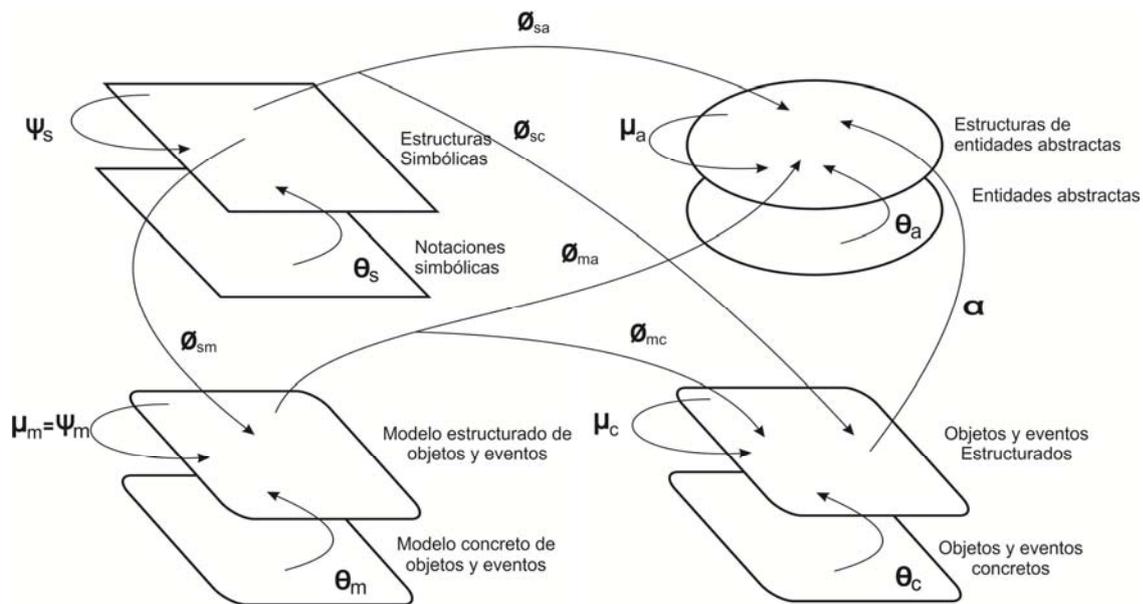


Figura 4.1. Niveles de representación y funciones en el modelo de comprensión de Greeno (Tomado de Greeno, 1989, p. 310).

Un ejemplo para ilustrar la distinción entre las diferentes capas podría ser el de una grúa (Gaigher, Roganb, y Braunaet, 2007). En el dominio concreto, el subnivel a contiene objetos tales como la grúa, el cable, y el contenedor, mientras que el proceso de elevación del contenedor por la grúa es una estructura combinada de elementos que está en el subnivel b. En el nivel ‘modelo de la realidad’, los vectores y formas geométricas son ítems independientes, mientras que estos elementos pueden ser combinados de manera significativa para convertirse en un diagrama de “cuerpo libre” en el subnivel b del modelo de la realidad. En el dominio ‘abstracto’, los conceptos de fuerza, masa, y aceleración son elementos independientes en la capa inferior, mientras que la relación entre estos conceptos (la segunda ley de Newton) es una estructura de la capa superior. En el nivel ‘simbólico’, los símbolos algebraicos F_x , F_y y a_x , a_y , m (componentes de los vectores fuerza y aceleración, y escalar masa, respectivamente) son ítems del subnivel simbólico inferior, mientras que las ecuaciones matemáticas $\Sigma F_x = ma_x$; $\Sigma F_y = ma_y$ son estructuras correspondientes al subnivel simbólico superior. En el nivel simbólico del lenguaje natural, las frases y párrafos son estructuras en el subnivel simbólico superior, mientras que las palabras son elementos independientes en el subnivel simbólico inferior.

Existen también conexiones dentro de cada nivel, a y b, indicados en la figura por las funciones θ y Ψ , con subíndices c, m, a, y s para indicar los diferentes dominios. Las conexiones creadas por θ representan los tipos de relaciones permitidas entre los elementos de un ítem independiente en la capa a para formar estructuras significativas en las correspondientes capas de b. Por ejemplo, una conexión θ_m en el nivel de modelos de la realidad puede representar las reglas sobre la forma de dibujar un diagrama de los componentes de un circuito, o la regla del paralelogramo para sumar vectores. Las conexiones creadas por Ψ representan formas alternativas de una determinada estructura en un subnivel, gobernado por conjuntos de reglas para el nivel. Por ejemplo, la asociación de una velocidad constante con una fuerza resultante cero es una operación Ψ_a en el dominio de las estructuras abstractas (científicas), mientras que una manipulación algebraica se clasifica como una operación Ψ_s en el dominio simbólico de las matemáticas.

Entre los diferentes niveles existen correspondencias bidireccionales, que se indican con la función Φ , acompañados de los subíndices c, m, a, y s, respectivamente, los cuales se refieren a los diferentes niveles de representación, es decir, nivel concreto, modelo de la realidad, nivel abstracto y nivel simbólico. Estas funciones representan las transiciones coherentes entre los diferentes dominios de representación. La función Φ_{sc} representa la relación entre los niveles simbólicos y concretos, Φ_{sa} representa la relación entre los niveles simbólicos y abstractos, Φ_{ma} representa la relación entre los niveles modelo de la realidad y abstracto, Φ_{mc} representa la relación entre los niveles modelo de la realidad y concreto, y finalmente Φ_{ac} representa la relación entre los niveles abstracto y concreto.

De esta manera, en términos del modelo de Greeno, cuando se soluciona un problema de forma exitosa, es porque existe una apropiada traslación del dominio concreto al dominio abstracto. Por el contrario, las dificultades de los estudiantes para comprender la naturaleza en términos físicos puede asociarse con las dificultades para transitar por los distintos elementos del modelo de Greeno (1988).

4.2.3.-Efectos del procesamiento corporal de la información sobre la comprensión

El cerebro humano es capaz de procesar información de distinta naturaleza: visual, auditiva, táctil, olfativa, etc., y lo hace usando subsistemas cognitivos distintos. Es decir, la información puede llegar a la mente humana por diferentes canales y para cada uno de ellos existe un sistema de procesamiento. Cuando se puede manipular activamente objetos y dispositivos experimentales, la comprensión y el aprendizaje de la ciencia implica varios de esos canales: el visual, el auditivo y el táctil. Esperamos que la construcción de representaciones mentales dependa del soporte o medio o formato en que la información es suministrada, ya que los canales cerebrales son distintos (aunque interconectados).

4.2.3.1.-Procesamiento visual de la información

Aunque existe una cierta confusión sobre la aportación de la visualización en el aprendizaje (Vekiri, 2002; Vavra, Janjic-Watrich, Loerke, Phillips, Norris, y Macnab, Vavra, 2011; Hegarty, 2009), hay una cierta conciencia de que los modos visuales y espaciales deben ser integrados en el aprendizaje de la ciencia.

Para Vavra, et al., (2011), la visualización en la educación científica puede ser explicada al menos desde dos perspectivas teóricas: (1) la teoría de codificación dual (DCT) y (2) la hipótesis de imágenes visuales (VIH). La DCT (Paivio, 1986; Sadoski y Paivio, 2001) considera la visualización como uno de los dos medios posibles para la comprensión. Postula dos sistemas cognitivos independientes, uno verbal y uno no verbal, Vavra et al. (op.cit., p.13) consideran que “() *la combinación de la información lingüística y la información visual proporciona un doble soporte para el aprendizaje y la adquisición de conocimiento*”. La DCT ofrece ideas importantes sobre cómo la percepción visual afecta a la memoria y cómo la visualización se puede utilizar para mejorar el aprendizaje y la comprensión.

La VIH (Johnson-Laird, 1998; Pylyshyn 2003) privilegia los objetos de visualización. Según Vekiri (2002), las representaciones gráficas permiten procesar la información más eficientemente que las verbales, en última instancia, reduciendo la

demanda de la memoria de trabajo. La VIH pone de relieve varias funciones importantes para la visualización de objetos, tales como organizar y resaltar conceptos claves, hacer accesible la información con el fin de facilitar inferencias para resolver problemas, y la identificación de las interconexiones lógicas y complejas, así como sus relaciones (Tversky, 2001). La premisa básica de la VIH es que la visualización de objetos y eventos proporciona la información necesaria para facilitar la aplicación de los conocimientos en la resolución de problemas (Vavra, et. al., 2011).

Tanto la DCT como la VIH permiten esperar diferencias en el procesamiento de la información en dos condiciones distintas: observar el funcionamiento de un dispositivo experimental en la realidad, o leer sobre el funcionamiento de ese dispositivo en un texto. Los trabajos empíricos desarrollados en esta tesis asumirán estas diferencias como hipótesis.

4.2.3.2.-Aprendizaje multimedia

Una pregunta que surge de inmediato sería: ¿se procesa mejor la realidad cuando se activa más de un canal? Dado que el cerebro funciona de un modo asociativo, es decir, conectando entre sí conjuntos de neuronas que se activan a la vez (Gazzaniga, 2013), ¿mejoraría el aprendizaje si se activan más recursos del cerebro mediante señales informativas que implican más de un canal? Esta pregunta ha sido abordada en el llamado “Aprendizaje Multimedia” desarrollado, entre otros, por Mayer (2005; 2009) que asume el llamado principio multimedia: *“los estudiantes aprenden mejor con palabras e imágenes, que sólo con palabras”*.

El modelo de aprendizaje multimedia que combina los supuestos de la teoría del código dual con la noción de comprensión en la construcción de representaciones mentales multinivel. Mayer (opus cit) supone que la información verbal y pictórica (imágenes) se procesa en diferentes subsistemas cognitivos, y predice que ese procesamiento lleva a una construcción paralela de dos clases de modelos mentales. Por consiguiente un individuo que entiende un texto con imágenes, selecciona información relevante del texto y construye una representación proposicional primero y luego un modelo verbal mental. Similarmente, el sujeto selecciona información relevante de las imágenes, crea una base de imágenes, y organiza la información pictórica seleccionada en un modelo mental visual. El

paso final es construir conexiones entre el modelo basado en el texto y el modelo basado en imágenes.

Los textos y las imágenes se basan en diferentes sistemas de signos y emplean principios de representación distintos. Los textos consisten en símbolos que tienen una estructura arbitraria y que están asociados con el contenido que representan simplemente por significados convenidos. Las imágenes, en cambio, son representaciones de carácter icónico que representa el contenido a través de características estructurales comunes con dicho contenido. También Schnotz, Bannert, y Seufert (2002) y Schnotz, (2005) consideran la comprensión de una imagen como un proceso de reproducción de la estructura analógica entre un sistema de relaciones viso-espaciales y un sistema de relaciones semánticas. La comprensión de un texto y una imagen implica dos rutas diferentes para la construcción de un modelo mental. En ocasiones una ruta puede reemplazar a la otra hasta cierto punto. Es decir, las imágenes pueden ser empleadas en lugar del texto, y el texto puede ser empleado en lugar de las imágenes.

Mayer (2005; 2009) ha enunciado los “principios del aprendizaje multimedia” como sigue:

Principio de coherencia: aprendemos mejor cuando las palabras, imágenes y sonidos irrelevantes se han excluido.

Principio de señalización: aprendemos mejor cuando hay señales que destacan la organización esencial de la información a procesar.

Principio de redundancia: aprendemos mejor con gráficos y narración que con gráficos, narración y texto escrito.

Principio de contigüidad espacial: aprendemos mejor cuando imágenes y textos relacionados están cercanos entre sí en vez de estar alejados.

Principio de contigüidad temporal: aprendemos mejor cuando imágenes y palabras relacionadas se presentan simultáneamente en vez de presentarse sucesivamente.

Principio de segmentación: aprendemos mejor cuando un mensaje multimedia se presenta en segmentos que el usuario puede procesar a su ritmo en vez de como una unidad continua.

Principio de modalidad: aprendemos mejor con imágenes y narración que con imágenes y texto escrito.

Principio de personalización: aprendemos mejor en las presentaciones multimedia cuando el lenguaje utilizado es coloquial en lugar de formal.

Principio de las diferencias individuales una buena presentación multimedia puede favorecer a priori al alumnado con un menor desarrollo de sus capacidades.

En resumen, para optimizar el aprendizaje, los estudiantes deben disponer de información pictórica y lingüística seleccionada, adaptada y redundante pero evitando la saturación de las memorias de trabajo implicadas (verbal, auditiva, etc.)

4.2.3.3.-El *embodiment* en la comprensión

No solo la vista y el oído intervienen en la comprensión. Investigaciones recientes han mostrado que los procesos cognitivos elementales están afectados por la participación o no, de sensaciones corporales en la captación y procesamiento de los input (*embodiment*). Es decir, parece que la participación de los sentidos corporales están en la base de la cognición, en lugar de estar confinados en la periferia sensorial y motora (Barsalou, 1999). Una consecuencia es que el conocimiento no puede ser asignado a un ‘módulo cognitivo’ independiente de otros módulos sensoriales y motores, es decir, los procesos cognitivos no pueden separarse de los procesos sensorio-motores que proporcionan el soporte para su desarrollo (Barsalou, 2011). La cognición está profundamente interrelacionada con la acción sensorio-motora y los afectos. La evidencia indica que incluso las operaciones cognitivas complejas, tales como el razonamiento y el procesamiento del idioma, se basan en sensaciones perceptuales e implican áreas motoras del cerebro.

Acorde con estos supuestos, estudios recientes (ver por ejemplo, Mayer, 2005; Barsalou, 1999; Hegarty, 2009), muestran que existe una relación entre el modo en que se construyen los conceptos y los mecanismos sensoriales y motores. Esto apoya las propuestas de Barsalou (1999) y Glenberg y Robertson (2000), que sostienen que la información que los humanos procesan no puede estar formada únicamente por símbolos. Nuestro cerebro se ha adaptado al ambiente natural procesando los *input* que nuestro cuerpo siente en su interacción con la realidad, y es a partir de esas experiencias que surge la necesidad de la comunicación, la simbolización y los lenguajes. Para Barsalou (1999), todo símbolo debe estar conectado con el mundo real, tangible, antes de adquirir su

significado. El significado emerge de los modelos mentales que el sujeto construye dentro de una situación concreta (de Vega, 2005), requiriendo estímulos corpóreos y sensibles procedentes de esa realidad. Hay evidencias de la activación de áreas sensorio-motoras del cerebro cuando se procesa lenguaje que alude a movimientos, y de activación de representaciones visuales y motoras almacenadas en la memoria cuando se comprenden oraciones (Barsalou, 1999).

De estas teorías se deriva que, si se produce el contacto “corpóreo” con una realidad que ha de ser comprendida, se puede facilitar la activación en el cerebro de representaciones mentales más ricas y adecuadas para esa comprensión. En el caso de que el medio para transmitir la información sea un texto, se está usando un código altamente simbolizado: el lenguaje escrito. Aunque los símbolos lingüísticos se refieran a una realidad tangible, para capturar su significado hay que someter el lenguaje a un proceso de decodificación que consume recursos cognitivos. Además, el lenguaje es menos eficiente a la hora de activar modelos mentales que incluyan componentes sensoriales que la propia manipulación.

En esta tesis, la observación y manipulación de dispositivos experimentales en la realidad implica una comunicación multi-canal, por oposición a la presentación de la información a través del mono-canal textual. La teoría cognoscitiva del aprendizaje multimedia (Mayer, opus cit), asumiendo la limitación de la memoria de trabajo (Baddeley, 2007), considera que cuando los estudiantes leen acerca de la realidad física, los modelos mentales activados pueden ser menos ricos que cuando se puede interaccionar físicamente con esa misma realidad, en cuyo caso la comunicación usa dos canales (visual y auditivo), o tres, si hay manipulación visual, auditiva y/o táctil. Por ejemplo, cuando se manipula un dispositivo se dispone de la memoria sensorial y de la memoria lingüística para procesar toda la información disponible, mientras que en el caso de la lectura únicamente se dispone de la memoria de trabajo para el lenguaje.

4.2.4.-Generación de inferencias durante la comprensión

La construcción de las representaciones mentales de alto nivel para la comprensión de las ciencias (MS, modelo científico conceptual-abstracto o modelo formalizado-

simbólico) requieren la realización de abundantes inferencias por parte del aprendiz para conectar ideas entre sí, tanto provistas en los materiales como activadas en el conocimiento previo del aprendiz. Las inferencias son procesos cognitivos por los cuales el sujeto construye (elabora) nueva información que no está explicitada en la fuente de información (texto, imágenes, etc.) para entender propiamente la información, es decir, para relacionarla coherentemente con esquemas de conocimiento preexistentes en la memoria a largo plazo. Las inferencias se convierten en procesos de recuperación del conocimiento del sujeto para cubrir un espacio o hueco que no aporta explícitamente el mensaje (Graesser, Singer, y Trabasso, 1994; Graesser y Zwaan, 1995; Van Dijk y Kintsch, 1983; Kintsch, 1998; van den Broek, Young, Tzeng, Linderholm, 1999). Así, la fuente a partir de la cual se lleva a cabo los procesos inferenciales es la propia estructura de conocimiento del sujeto, en interacción con la nueva información.

Se ha considerado que las inferencias son el proceso cognitivo más importante que interviene en la comprensión. Graesser y Zwaan (1995) subrayan que las inferencias constituyen uno de los procesos centrales en la construcción del modelo de situación de los textos narrativos y expositivos.

4.2.4.1.-Tipos de inferencias

León y Pérez (2003) han analizado varias taxonomías de inferencias dependiendo de diferentes criterios como la cantidad de recursos cognitivos implicados (automáticas y estratégicas), la dirección (hacia delante y hacia a tras), la certeza (lógicas y pragmáticas), el curso temporal (online y offline), la fuente de información (el texto y los conocimientos previos), o el contenido (instrumentales y temáticas).

Kintsch (1998), por su parte, considera que las inferencias pueden clasificarse según dos dimensiones: a) procesos automáticos y, b) procesos controlados por el lector. Dentro de cada una de ellas se pueden distinguir dos procesos: a) la recuperación de información y, b) la generación de nueva información. En definitiva, Kintsch plantea las siguientes cuatro categorías para las inferencias:

1.- Inferencias Automáticas de Recuperación: basadas en una conexión entre la información contenida en la memoria de trabajo y el conocimiento previo.

2.- Inferencias Controladas de Recuperación: generadas en el momento en que la recuperación automática falla para crear una representación coherente de la información textual.

3.- Inferencias Automáticas Generadoras: son resultado del proceso de elaboración del modelo de la situación durante la comprensión del texto (dan coherencia local y global a la información).

4.- Inferencias Controladas Generadoras: que engloban todos los procesos mentales deliberados que pone en marcha el lector en la generación de nueva información.

Van den Broek y colaboradores (1993) utilizan otros criterios taxonómicos y distinguen entre: a) inferencias hacia atrás; b) inferencias hacia adelante, y c) inferencias concurrentes.

La variedad de criterios utilizados a la hora de clasificar las inferencias es muy grande (León y Pérez, 2003), lo que demuestra que el conocimiento disponible sobre sus mecanismos cognitivos es aún incipiente.

4.2.4.2.-La taxonomía de inferencias propuesta por Trabasso y Magliano

Trabasso y Magliano (1996), en un estudio sobre procesos de comprensión en textos narrativos, adoptan una clasificación similar a la de Van den Broek et al. (1993), y consideran las explicaciones como inferencias hacia atrás, las asociaciones como inferencias concurrentes, y las predicciones como inferencias hacia adelante en el tiempo. Por lo general, las teorías constructivistas siempre asumen que la información puede estar disponible para la memoria de trabajo en orden a generar inferencias. Esta información puede venir del conocimiento del mundo o de una representación del texto así como de las inferencias. Hay un conjunto finito de operaciones que crean información relevante disponible para la memoria de trabajo; por ejemplo, la activación de nueva información, mantenimiento de la información en la memoria de trabajo, o recuperación de información y conocimientos previos de la memoria de largo plazo. Estas operaciones son consideradas funcionalmente necesarias para tres tipos de inferencias que Trabasso y Magliano encontraron en los protocolos de pensamiento en voz alta de los sujetos estudiados. Estas son: Asociaciones, Explicaciones y Predicciones.

a) Inferencias Asociativas: se producen cuando la actividad mental se dedica a conocer mejor las entidades mencionadas, por ejemplo mediante características y atributos particulares que el sujeto necesita asociar a esas entidades.

b) Inferencias Explicativas: se producen cuando el sujeto intenta encontrar la cadena causal que justifica los hechos o las características particulares de los acontecimientos o de los objetos.

c) Inferencias Predicciones: aparecen cuando la persona que procesa va más allá de lo recogido en el texto y desea adelantar los acontecimientos futuros o las consecuencias de los hechos pasados.

En el aprendizaje de las ciencias, esperamos que la mayoría de los problemas de incomprensión –y por tanto, las preguntas de los estudiantes- procedan de los intentos fallidos por realizar inferencias para construir el modelo de la situación o el modelo científico de la información suministrada en diferentes formatos. Si esto es así, los tipos de preguntas formuladas deberían estar claramente relacionados con los tipos de inferencias intentadas. Volveremos sobre esto después.

4.3.- El control de la comprensión

Como se dijo al principio del capítulo, para formular una ISQ es necesario que aparezca un problema de comprensión, pero también es necesario que el sujeto lo detecte y decida hacer algo al respecto. Una vez estudiados los modelos de comprensión y algunos factores importantes en los procesos cognitivos implicados en ella, nos detendremos en la destreza metacognitiva del sujeto para monitorizar su comprensión y detectar ‘fracturas’ en ella que requieren reparación.

La metacognición se refiere al conocimiento, la evaluación y regulación de los propios procesos cognitivos (Flavell, 1976, 1979, 1987). Otero (1990), basándose en el clásico concepto de Flavell, define la metacognición como “*el conocimiento que cada quién tiene acerca de sus propios procesos cognitivos ()*” y, añade, que la metacognición “*() abarca también el control activo y la organización y regulación subsiguiente de dichos procesos*” (Otero, 1990, p.447). Conocer sobre lo que uno sabe es la base de la

metacognición. Este mecanismo depende de la propia habilidad para evaluar o monitorear los propios procesos cognitivos, como el pensamiento y la memoria. La metacognición se relaciona con el aprendizaje autorregulado en donde quien aprende es responsable activo y autónomo del control y regulación de sus propios procesos cognitivos. Para ello, el aprendiz fija sus propias metas de aprendizaje, planifica las acciones a realizar para conseguirlas, activa y desarrolla las estrategias apropiadas y evalúa durante el proceso si se avanza o no hacia la meta pretendida. Hay una asociación entre el éxito en el aprendizaje y la autorregulación (Azevedo y otros, 2004; Azevedo, 2005).

Un amplio estudio realizado por Wang, Haertel y Walberg, (1993) sobre un conjunto de investigaciones, demostró que, de todas las variables que están implicadas en el éxito académico, el conjunto de ellas que describe las características personales, internas, de los estudiantes es el que produce un efecto más importante sobre el éxito escolar. Y si se considera el efecto de cada categoría individualmente, las destrezas metacognitivas del estudiante son las más influyentes en el éxito escolar por detrás de la gestión de la clase, pero por encima de variables didácticas asociadas al tipo y cantidad de la instrucción, las interacciones académicas entre estudiantes y profesores, la evaluación durante la clase, etc. (ver Tabla 4.1).

Así pues, el control de la propia comprensión es muy importante para el éxito académico; tanto o más que otros factores instruccionales o socio-afectivos. Esta influencia de la autorregulación sobre el aprendizaje está bien estudiada desde hace tiempo (Zimmerman, 1990; Corno, 1986).

Categoría de las variables	Efecto
-Gestión de clase (alertas, uso de preguntas y otras estrategias para mantener la participación activa de los estudiantes)	64,8
-Metacognitivas (control de la comprensión)	63,0
-Cognitivas (nivel de conocimiento en el tema)	61,3
-Cantidad de instrucción (tiempo en que los alumnos están activos en actividades de aprendizaje)	53,7
-Clima de aula (buena cooperación entre alumnos, intereses compartidos)	52,3
-Instruccionales (instrucción directa, clara y organizada)	52,1
-Evaluación en clase (frecuente e integrada en la instrucción)	50,4

Tabla 4.1.- Algunas categorías utilizadas por Wang et al (1993) y su efecto sobre el éxito académico. (Valores T: tamaños del efecto estandarizados con media de 50 y D.S. de 10).

Una estrategia propia del aprendizaje autorregulado es el control de la propia comprensión. El control de la comprensión se refiere a los procesos metacognitivos que permiten tomar conciencia del estado de la comprensión y a su vez tomar decisiones que influyan en los procesos cognitivos implicados en la comprensión. Nelson y Narens (1990) propusieron que el control de la comprensión es un proceso cognitivo que se ejecuta en dos fases: vigilancia y control. Otros autores también diferencian dos etapas que denominan evaluación y regulación de la comprensión (Zabucky y Ratner, 1986, 1989, 1992; Baker 1985; Otero 1996). La evaluación se refiere a la identificación de un problema en la comprensión de una información, mientras la regulación consiste en el conjunto de acciones que se desarrollan con el fin de solucionar el problema, una vez se ha detectado. Una de esas acciones es formular preguntas a personas que, probablemente, saben la respuesta. A las fases de evaluación y regulación de la comprensión se antepone una etapa de planificación en la que los sujetos seleccionan las estrategias y recursos cognitivos necesarios para lograr las metas de comprensión de acuerdo con el propósito de las tareas de aprendizaje (Campanario, 1995a).

4.3.1.-Evaluación de la comprensión

Baker (1994) propuso una serie de criterios o estándares de acuerdo con los cuales se lleva a cabo la evaluación de la comprensión en distintos niveles:

- Criterio léxico: el significado de cada palabra debe obtenerse.
- Criterio de coherencia externa: los conocimientos previos del lector no pueden ser incompatibles con las ideas del texto.
- Criterio de cohesión proposicional: las ideas adyacentes del texto deben ser coherentes.
- Criterio de cohesión estructural: las ideas del texto deben mantener una compatibilidad temática.
- Criterio de coherencia interna: las ideas del texto deben mantener una consistencia lógica.

- Criterio de suficiencia informativa: el texto debe contener la información suficiente para su objetivo.

La evaluación de la comprensión es un prerrequisito para la regulación.

4.3.2.-Regulación de la comprensión

Una vez que el lector nota que ha encontrado obstáculos de comprensión, se pone en marcha la fase de regulación, con el fin de resolver los problemas de comprensión detectados. Campanario (2011) ha propuesto dos factores asociados con la regulación de la propia comprensión: a) la voluntad de dar solución a los problemas de comprensión encontrados; y b) la aplicación de diversas estrategias efectivas para ello. Algunas de esas estrategias son: ignorar el problema (si las dificultades son poco importantes), utilizar el contexto, utilizar los conocimientos previos, usar la información que viene después en el texto, formular y comprobar las hipótesis e inferencias, y formular la dificultad como problema a solucionar. Chinn y Brewer (1993) propusieron una taxonomía para los modos en que las personas pueden reaccionar ante lo que ellos llamaron “datos anómalos”. Si la detección de una violación de alguno de los criterios de control propuestos por Baker (opus cit) puede asimilarse a un “dato anómalo” encontrado durante los procesos de comprensión de la información, entonces una persona que detecta un problema de comprensión (violación de consistencias internas o externas) podría: a) ignorarlo, rechazarlo negando que haya una inconsistencia real, o excluirlo del intento de integración en la representación mental que se está elaborando (que involucra el conocimiento previo que se posee sobre el tema); b) dejarlo en suspenso para ver qué sucede más adelante; c) reinterpretar la información discordante asignándole otro significado; d) aceptar que se ha producido una violación de los estándares de control y es necesario restablecer la coherencia realizando alguna clase de acción.

4.4.-Modelos cognitivos de generación de preguntas destinadas a obtener información

4.4.1.- El modelo PREG de Otero y Graesser

Dado que la comprensión implica distintos niveles diferentes de representación mental (Kintsch y van Dijk, 1978; Kintsch, 1998), el control de la comprensión debería operar también en esos niveles (Campanario, 2011):

- a) Nivel de palabras: términos desconocidos (criterio lexicográfico).
- b) Nivel semántico:
 - Organización sintáctica y gramatical.
 - Coherencia proposicional (coherencia local entre frases cercanas).
- c) Nivel de discurso
 - Párrafos sin relación entre sí (coherencia estructural).
 - Conflicto de conocimientos previos (coherencia externa).
 - Consistencia interna de un discurso (coherencia interna).
 - Globalidad, suficiencia de la información (información completa).
- d) Nivel abstracto.

Por tanto, el control de la comprensión no es un constructo único o unívoco, sino que depende del nivel en que se ejerce y de cómo se mide.

Otero y Graesser (2001) probaron que, en efecto, los estudiantes controlaban su comprensión de la información textual en estos tres niveles predichos por la teoría de Kintsch y colaboradores. Estos autores han propuesto el modelo “PREG” para explicar el origen de las preguntas de los estudiantes asociadas a los niveles de representación mental de Kintsch y van Dijk (opus cit) y han logrado probar que el modelo es “suficiente”, es decir, capaz de recoger todas las preguntas que los estudiantes formulan ante textos que exponen fenómenos científicos en términos concretos (no abstractos).

El modelo PREG contiene un conjunto de reglas de producción que especifican las condiciones en las cuales los niños y los adultos hacen preguntas cuando ellos leen textos

expositivos. La esencia del mecanismo por el cual se genera una pregunta bajo la predicción del modelo PREG, es la existencia de discrepancias entre la representación de la información del texto y el conocimiento del lector. Tanto el texto explícito como el conocimiento del mundo por parte del lector son representados en forma de una estructura conceptual. Las comparaciones entre las representaciones del texto y el conocimiento de los lectores se examinan con tres componentes de estructuras conceptuales: palabras, oraciones, y relaciones entre oraciones.

Algunas predicciones del PREG fueron probadas en una recopilación de preguntas generadas por estudiantes de octavo grado y estudiantes de doceavo grado que leyeron textos científicos cortos. En primer lugar, el modelo se mostró 'suficiente' porque era capaz de explicar todas las preguntas ISQ producidas por los estudiantes. En segundo lugar, el modelo discriminó; es decir, pudo asignar unívocamente las condiciones en las cuales cada tipo particular de pregunta es, o no es, generada.

Los autores consideraron que una pregunta genuina que busca información (ISQ) se genera cuando el sujeto carece de información o pregunta por la existencia de discrepancias entre la representación de la información del texto y su conocimiento del previo. Al formular la pregunta va superando obstáculos para llegar a la meta, la cual consiste en la construcción de representaciones mentales apropiadas (a juicio del propio sujeto).

Algunas investigaciones han contrastado la bondad de este modelo en contextos no científicos (Graesser, Rus, Cai, y Hu, 2012; Olney, Graesser y Person, 2012).

4.4.2.-El modelo Obstáculo-Meta propuesto por Otero

Hemos visto que el modelo PREG predice el conjunto de las preguntas posibles que los estudiantes hacen sobre un tema particular, a partir de la idea de los obstáculos encontrados en el intento de construir representaciones mentales de diferentes niveles y a partir de reglas de producción. Sin embargo, PREG no ofrece mecanismos cognitivos y metacognitivos explícitos por los que las preguntas se generan. Un reto fundamental en la investigación sobre la realización preguntas es especificar los mecanismos de generación de éstas.

Los mecanismos psicológicos que subyacen en la formulación de preguntas no han sido, hasta ahora, bien estudiados. En su análisis del proceso de generación de preguntas por estudiantes, Dillon (1990) indica que el primer estadio consiste en un estado inicial de perplejidad. A este estado le sigue la formulación y expresión en palabras de la pregunta. El estado de perplejidad se produce cuando la persona que intenta comprender la información encuentra algún fragmento que supone novedad, sorpresa o incongruencia con lo que se esperaba. La novedad implica que un fragmento de información alude a entidades desconocidas. Es decir, esas entidades no pueden recuperarse de la memoria a largo plazo (MLP) y las inferencias para identificarlas no son inmediatas. Usualmente la sorpresa aparece cuando se anticipan con alta probabilidad hechos o bien la presencia de características de objetos, pero sin embargo la información explicita otros hechos o características de objetos que son diferentes, y que el sujeto consideraba con baja probabilidad de aparecer, de acuerdo con la información ya procesada y su conocimiento previo. Es decir, ese fragmento de información no había sido ni recuperado ni relacionado con la información precedente mediante inferencias automáticas realizadas online. En su lugar, el sujeto había activado otra información alternativa, vinculada en su MLP con la información precedente. Finalmente, la incongruencia implica una violación de la lógica. El sujeto recupera de su MLP o infiere online hechos o características de objetos que son incompatibles, excluyentes o contradictorios con los explicitados en la información suministrada.

En los tres casos (novedad, sorpresa o incongruencia) se implica el conocimiento previo del sujeto. Varios autores han estudiado la influencia del conocimiento del sujeto sobre las preguntas que formula (Van der Meij, 1990; La France, 1992; Graesser y Olde, 2003). Y en relación con el conocimiento previo, dos hipótesis alternativas se han formulado para explicar el mecanismo para reconocer anomalías y, por tanto, generar una pregunta (Otero y Graesser, 2001): a) déficit de conocimiento y, b) conflicto cognitivo. La primera indica que las preguntas aparecen cuando el sujeto carece de conocimiento sobre algún aspecto asociado con la información suministrada. Por ejemplo, un estudiante puede preguntar “¿*qué es el ácido acético*”? Otro estudiante que desconoce el principio de Arquímedes puede preguntar “¿*Por qué flotan los barcos de acero?*”.

Sin embargo, desde el estudio clásico de Miyake and Norman (1979), se sabe que las preguntas no se pueden explicar únicamente por lagunas de conocimiento. En ese estudio, los novatos que leyeron un manual difícil hicieron menos preguntas que los expertos en el tema. También Graesser y Olde (2003) encontraron que cuanto mejor era la comprensión del funcionamiento de un dispositivo, mayor era el número de preguntas adecuadas cuya respuesta permitiría reparar el dispositivo roto, que era la tarea solicitada.

Estos resultados se explican con la hipótesis del conflicto cognitivo, según la cual, las preguntas dependen de las inconsistencias o incompatibilidades entre la información externa y el conocimiento previo del sujeto. Por tanto, cuanto mayor es el conocimiento previo, mayor es la probabilidad de encontrar esas incompatibilidades o inconsistencias y de formular preguntas. Por ejemplo, un experto en ingeniería naval puede preguntar detalles sobre los dispositivos que permiten a un submarino de acero flotar o hundirse en el mar, o encontrar obstáculos en su intento de aplicar el principio de Arquímedes y las leyes hidrodinámicas para comprender las ventajas de un diseño sobre otro para el manejo de un submarino. Sin embargo, un estudiante que no conozca el principio de Arquímedes apenas puede preguntar por qué el submarino de hierro flota o se hunde ó por qué tiene forma de huso.

La hipótesis “Obstáculo-Meta” se ha formulado para reconciliar las dos hipótesis anteriores (Otero, 2009). Según esta hipótesis, la generación de una pregunta surge por la detección de obstáculos que el sujeto encuentra en su camino hacia una meta particular. Por ejemplo, el caso del estudiante novato que pregunta “¿por qué flotan los barcos de acero?” puede explicarse así. Este estudiante tiene como meta comprender por qué unos objetos pueden flotar en agua y otros no. Su experiencia previa le indica que hay materiales que flotan, sea cual sea la forma que adopten (como la madera o el corcho), mientras otros materiales se hunden o flotan dependiendo de la forma que adopten (como el acero). No conoce la dependencia concreta de la forma con la flotación y, cuando se le suministra información sobre este tema, que no explica el principio de Arquímedes, se encuentra con el obstáculo hacia su meta particular de que no encuentra explicación sobre la flotación de objetos hechos con materiales densos como el acero. El tema activa su conocimiento previo, y su meta determina el obstáculo hacia su comprensión de la flotación. Al tropezar con (detectar) ese obstáculo, formula la pregunta.

El caso del experto que formula más y mejores preguntas que un novato sobre submarinos también puede explicarse con esta hipótesis. La meta del experto está mucho más allá de la mera comprensión del principio de Arquímedes, formulado en términos generales, e implica detalles de diseño que implican diferencias sutiles en flotabilidad y manejabilidad de la nave. Cuando se suministra al experto una información sobre este tema, se activa su amplio conocimiento previo. Si la información no incluye explicación sobre los detalles de diseño y relación con la navegación del submarino que el experto desea conocer, aparecen obstáculos de comprensión hacia esa meta particular. Por tanto, el experto formulará preguntas que el novato no puede concebir.

Asumiendo la hipótesis propuesta por Otero (opus cit) de que una pregunta 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, (Ishiwa, Otero y Sanjosé, 2009; Ishiwa, Sanjosé, Higes y Otero, 2006; Otero, Ishiwa, Caldeira, Macías, Maturano y Sanjosé, 2004) han acometido la validación de un modelo que intenta explicar el mecanismo cognitivo por el que se generan las ISQ's durante el aprendizaje de las ciencias. La Figura 4.2 muestra esquemáticamente los elementos constitutivos del modelo Obstáculo-Meta.



Figura 4.2. Componentes del modelo Obstáculo-Meta de generación de preguntas (Tomado de Ishiwa, 2012).

En este modelo se asume que los sujetos a quienes se suministra una determinada información son estudiantes competentes que intentan realmente comprender la información (se esfuerzan en ello; tienen ese propósito). Se concibe la construcción de una representación mental como un proceso o tránsito entre estados: se parte de un estado inicial (el conocimiento previo + el input o información suministrada), y se quiere alcanzar un estado final (la representación adecuada de la información que el sujeto tiene como meta). Los supuestos del modelo son:

1) La existencia de una meta (consciente o inconsciente) que cada persona tiene al procesar el contenido en cada circunstancia o contexto: una determinada representación mental. Esta meta es idiosincrática y condiciona el procesamiento de la información suministrada (Mills, Diehl, Birkmire y Mou, 1995).

2) La transición hacia esa meta puede suponer el tropiezo con obstáculos que hay que superar. Estos obstáculos están asociados con la representación de las entidades y sus relaciones, tanto a nivel concreto -objetos y eventos- como a nivel abstracto -estados y fenómenos- y, en su caso, matemático. Los sujetos formulan preguntas para superar esos obstáculos.

La consciencia de incompreensión es difícil de entender si no se postula la existencia de un modelo mental pretendido, objetivo final, con el que comparar el estado de la construcción mental en cada momento. Activando en un cierto momento el modelo pretendido se puede controlar en cada momento si la comprensión progresa adecuadamente. Si no tuviéramos ese modelo-meta, ¿cómo podríamos saber que “algo no va bien”? Sin embargo la sensación de que algo no está suficientemente claro es frecuente en todos los seres humanos.

Por tanto, los obstáculos que un sujeto puede encontrar al procesar una información dependerán del camino que intente recorrer para llegar a su meta (la representación mental pretendida). El trabajo de Diehl (2004) indica que existe esta relación entre metas y obstáculos en la comprensión. Se examinó la diferencia en las dificultades percibidas por los sujetos que leyeron dos textos procedimentales bajo dos condiciones: realizar la tarea descrita mientras se lee, o sólo leer. Las dificultades consideradas en el experimento fueron gramaticales, relación entre frases adyacentes y de conocimiento (falta de detalles, explicaciones o esquemas gráficos). Los sujetos en la condición sólo-leer, encontraron más

dificultades gramaticales, mientras que los sujetos de la condición leer-y-hacer encontraron más dificultades de relación entre frases consecutivas. La explicación proporcionada para esas diferencias es que leer-y-hacer obligó a los sujetos a ir más allá de la base del texto y construir el modelo de la situación, mientras la condición sólo-leer no.

Según este modelo, diferentes metas en los estudiantes pueden dar lugar a diferentes preguntas aunque se esté procesando exactamente la misma información. Las metas internas de los sujetos no pueden ser fácilmente explicitadas, pero se puede intentar influir indirectamente en las metas internas a través de tareas propuestas externamente por los profesores o los investigadores.

4.4.3.-Una taxonomía para preguntas procedentes de inferencias fallidas

Dado que los obstáculos más frecuentes en ciencias son, básicamente, inferencias fallidas, las preguntas formuladas deben estar claramente asociadas al tipo de inferencia intentada. De acuerdo con Trabasso y Magliano (1996) y con Ishiwa y colaboradores (2009), se esperan preguntas asociadas con inferencias asociativas, explicativas y predictivas, intentadas y no logradas. Por el momento, no consideraremos obstáculos procedimentales (por ejemplo “*¿cuál es la fórmula necesaria para calcular ?*”).

Siguiendo la taxonomía de inferencias anterior, en los procesos de comprensión de las ciencias deberían esperarse preguntas destinadas a: a) representar mejor las entidades; b) justificar las entidades y; c) anticipar acontecimientos futuros o que se podrían producir en situaciones algo diferentes a las actuales. Esto es:

1) Preguntas asociativas. Este tipo de pregunta se genera por la dificultad del sujeto para representar las entidades, en el texto, o dispositivo experimental. Este tipo de preguntas siempre se relacionan con las inferencias asociativas. Una forma característica de reconocerlas, es por su formulación: *¿Cómo?*, *¿Quién?*, *¿Qué?*, *¿Cuándo?*, *¿Dónde?*

2) Preguntas explicativas: Son preguntas asociadas a las inferencias explicativas. En general buscan explicaciones y justificar las entidades. Son expresadas frecuentemente como: *¿Por qué ?*

3) Preguntas predictivas: son generadas cuando se trata de realizar inferencias del tipo si-entonces, es decir, inferencias predictivas. Se refieren a la previsión de consecuencias. Normalmente, se formulan de la siguiente manera: *¿Qué pasaría si ?*

Usando textos expositivos (no narrativos) Ishiwa, Macías, Maturano y Otero (2009) han logrado clasificar un amplio número y variedad de preguntas formuladas por alumnos sobre contenido científico en estas mismas 3 categorías. También Ishiwa (2012) logró clasificar las ISQ de estudiantes universitarios sobre textos científicos en esas mismas tres categorías, en tres diferentes experimentos.

Como hipótesis de trabajo, por tanto, puede asumirse esta misma taxonomía para el caso en que las representaciones mentales de los aprendices vayan más allá del Modelo de la Situación y afecten los niveles abstracto y simbólico de representación. En ese caso, las descripciones, explicaciones y predicciones estarían expresadas en términos científicos (leyes, principios, conceptos propios de cada ciencia) y/o en términos matemáticos.

En esta investigación se validará esta taxonomía en situaciones didácticas distintas a las anteriores, en las que los estudiantes deban comprender el funcionamiento de dispositivos experimentales en diferentes situaciones: visionarlos, leer sobre ellos o manipularlos.

4.4.4.-Aplicación del modelo teórico en esta investigación

En los trabajos presentados en esta tesis, se validará y asumirá el modelo Obstáculo-Meta de generación de preguntas (Otero, 2009) y la taxonomía antes expuesta para dichas preguntas. Este modelo incluye como elementos estructurales las metas de los sujetos y los obstáculos de comprensión focalizados en las inferencias intentadas y no logradas. En esta investigación ambos elementos se han implementado de un modo sencillo. Los obstáculos de comprensión se han inducido mediante la inclusión de información que explícitamente contradice las expectativas de los estudiantes y produce perplejidad.

La inducción de perplejidad es también la estrategia utilizada en muchos de los dispositivos presentados en los museos de ciencia interactivos para atraer el interés de los estudiantes y, tras ello, posibilitar el aprendizaje. Dillon (1988) concluyó que el estadio

anterior a una pregunta era la perplejidad. Para conseguir esta perplejidad, la presentación de la información en nuestro experimento ha seguido la secuencia siguiente: activación de un esquema explicativo preexistente (representación mental suficientemente elaborada a partir de experiencias cotidianas) → uso de este esquema mental para comprender un fenómeno concordante con él → presentación de un fenómeno discrepante, difícil de explicar a partir del esquema explicativo activado. Para ello hemos usado dispositivos físicos que se comportan de un modo inesperado. Este tipo de dispositivos, usados frecuentemente en tareas recreativas, están mostrando gran potencial educativo (Lozano, Solbes, García-Molina, 2012)

Por su parte, las metas de los sujetos se han tratado de manipular experimentalmente mediante la propuesta de tareas en diferentes condiciones particulares. Suponemos que la meta inmediata, que es la representación mental de los estudiantes, dependerá de una meta mediata como es una tarea impuesta por el profesor. En nuestro caso, la tarea impuesta será la de comprender los dispositivos para explicar posteriormente los fenómenos a otro compañero/a que no posea información sobre ellos.

Referencias Bibliográficas de la Fundamentación Teórica

- Abell, S. K. y Lederman, N. G. (Eds.). (2007). *Handbook of Research on Science Education*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Abrahams, I. y Millar, R. (2008). Does practical work actually work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching method in school science. *International Journal of Science Education*, 30 (14), 1945-1969.
- Abrahams, I. y Reiss, M. (2012). Evolution. En P. Jarvis, M. Watts (Eds.), *The Routledge International Handbook of Learning* (pp. 411-418). Abingdon, Oxon: Routledge.
- Alexander, P.A., Jetton, T.L., Kulikowich, J.M. y Woehler, C.A. (1994). Contrasting instructional and structural importance: the seductive effect of teacher questions. *Journal of Reading Behaviour*, 26 (1), 19-42.
- Allen, M. (2012). Editorial. An international review of school science practical work. *Eurasia Journal of Mathematics, Science Technology Education*, 8(1), 1-2.
- Anderson, L.W. y Krathwohl, D.R. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Longman.
- Anderson, R. D. (2002). Reforming Science Teaching: What Research says about Inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1-12.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanesian, H. (1991). *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Ausubel, D.P. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Ciudad de México: Trillas.
- Azevedo, R. (2005). Using Hypermedia as a Metacognitive Tool for Enhancing Student Learning? The Role of Self-Regulated Learning. *Educational Psychologist*, 40 (4), 199-209
- Azevedo, R., Guthrie, J.T. y Seibert, D. (2004). The role of self-regulated learning in fostering students' conceptual understanding of complex systems with hypermedia. *Journal of*

Educational Computing Research, 30(1), 87-111.

- Baddeley, A.D. (2007). *Working memory, thought and action*. Oxford: Oxford University Press.
- Baker, L. (1979). Comprehension monitoring: Identifying and coping with text confusions. *Journal of Reading Behavior*, 11, 363-374.
- Baker, L. (1985). How do we know when we don't understand? Standards for evaluating text comprehension. En D.L. Forrest-Pressley, G.E. Mackinnon, T.G. Waller (Eds), *Metacognition, cognition and human performance* (pp. 155-205). New York: Academic Press.
- Baker, L. (1994). *Researchers and assessment policy development: A cautionary tale*. *American Journal of Education*, 102(4), 450-478.
- Barolli, E., Luburu, C.E. y Guridi, V.M. (2010). Laboratorio didáctico de ciencias: caminos de Investigación. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 88-110.
- Barron, B. J. S., Schwartz, D. L. Vye, N. J., Moore, A., Petrosino, A., Zech, L. y Bransford, D. J. (1998). Doing with understanding: lessons from research on problem and project-based learning, *The Journal of the Learning Sciences*, 7, 271-311.
- Barsalou, L.W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 577-609.
- Beasley, W.F. (1985). Improving student laboratory performance: How much practice makes perfect? *Science Education*, 69, 567-576.
- Berlyne, D.E., Frommer, F.D. (1966). Some determinants of the incidence and content of children's questions. *Child Development*, 38, 177-187.

- Bloom, B.S., Engelhart, M.B., Furst, E.J., Hill, W.H. y Krathwohl, D.R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals*. New York: Longmans Green.
- Blosser, P.E. (1995). *How to ask the right questions*. Arlington, VA: National Science Teachers association.
- Brown, J. S., Collins, A., y Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18, 32-41.
- Bruner, J. (1991). *Acts of Meaning*, Cambridge: Harvard University Press.
- Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31, 21-32.
- Campanario, J.M. (1995). Los problemas crecen: a veces los alumnos no se enteran de que no se enteran. *Aspectos didácticos de física y química*, 6, 87-126. Zaragoza: ICE, Universidad de Zaragoza
- Campanario, J.M. (2011). Empirical study of journal impact factors obtained using the classical two-year citation window versus a five-year citation window *Scientometrics*, 87, 189-204.
- Campanario, J.M. y Otero, J. (2000). La comprensión de los libros de texto. En F. J. Perales y R. Porlan (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 323-338). Alcoy: Editorial Marfil.
- Campanario, J.M., García-Arista, E., Otero, J., Patricio, A., Costa, E., Prata Pina, E.M., Caldeira, M.H. y Thomaz, M.F. (1994). En qué medida o controlo da compreensao ajuda a melhorar o rendimento académico? 4º *Encontro Ibérico para o Ensino da Física*. Covilha, Portugal, 19-23 September.
- Campbell, J.O., Bourne, J.R. Mosterman, P., y Brodersen, A.J. (2002). The effectiveness of learning simulations for electronic laboratories. *Journal of Engineering Education*, 81-87.

- Carey, S. y Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28(3), 235-251.
- Carrascosa, J. Gil-Pérez, D. y Vilches, A. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Cad. Bras. Ens. Fis.*, 23, 157-181.
- Champagne, A. B., Gunstone, R. F., y Klopfer, L. E. (1985). Instructional consequences of students' knowledge about physical phenomena. En L. H. T. West y A. L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change* (pp. 61-68). New York: Academic Press.
- Chang, H. P., y Lederman, N. G. (1994). The effect of levels of cooperation with physical science laboratory groups on physical science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 167-181.
- Chekuri, N. R. y Markle, G. C. (2004). Physics instructional design to improve cognitive skills and scientific reasoning. Paper presented at Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching and Learning, Vancouver, Canada.
- Chin, C. (2004). Students' questions: Fostering a culture of inquisitiveness in science classrooms. *School Science Review*, 86(314), 107-112.
- Chin, C. (2006). Using self-questioning to promote pupils' process skills thinking. *School Science Review*, 87(321), 113-122.
- Chin, C. y Brown, D.E. (2002). Student-generated questions: A meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24(5), 521-549.
- Chin, C. y Chia, L.G. (2004). Problem-based learning: Using students' questions to drive knowledge construction. *Science Education*, 88, 707-727.
- Chin, C. y Osborne, J. (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1-39.
- Chin, C. y Osborne, J. (2010). Supporting Argumentation Through Students' Questions:

- Case Studies in Science Classrooms. *Journal of the Learning Sciences*, 19(2), 230-284.
- Chinn C. A. y Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic Inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86, 175-218.
- Chinn, C. y Brewer, W. (1993). The Role of Anomalous Data in knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of educational Research*, 63(1), 1-49.
- Ciardiello, A. V. (1998). Did you ask a good question today? Alternative cognitive and metacognitive strategies. *Journal of Adolescent Adult Literacy*, 42, 210–219.
- Coll, C., Palacios, J. y Marchesi, A. (Eds.) (2005). *Desarrollo psicológico y educación: Psicología de la Educación Escolar*. Madrid: Alianza Editorial.
- Corno, L. (1986) The metacognitive control components of self-regulated learning. *Contemporary Educational Psychology*, 11, 333-346.
- Costa, J., Caldeira, M.H., Gallástegui, J.R. y Otero, J. (2000). An analysis of question asking on scientific texts explaining natural phenomena. *Journal of Research in Science Teaching* 37, 602-614.
- Craig, S. D., Gholson, B., Ventura, M., Graesser, A. C. y Tutoring Research Group. (2000). Overhearing dialogues and monologues in virtual tutoring sessions: Effects on questioning and vicarious learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11, 242–253.
- Craig, S. D., Sullins, J., Witherspoon, A., y Gholson, B. (2006). The deep-level reasoning questions effect: The role of dialogue and deep-level reasoning questions during vicarious learning. *Cognition and Instruction*, 24, 565-591.
- Cuccio-Schirripa, S. y Steiner, H.E. (2000). Enhancement and analysis of science question level for middle school students. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 210-224.

- Currie, L. A. (1999). Mr. Homunculus the reading detective. A cognitive approach to improving reading comprehension. *Educational and Child Psychology*, 16, 37-42.
- Davey, B. y McBride, S. (1986). Effects of question generation on reading comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 78, 256–262.
- De Jong, O. (1998). Los experimentos que plantean problemas en las aulas de química: Dilemas y soluciones. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 305-314.
- De Vega, M. (2005). Lenguaje, corporeidad y cerebro. *Revista Signos*, 38(58), 157-176.
- di Fuccia, D., Witteck, T., Markic, S y Eilks, I. (2012). Trends in Practical Work in German Science Educationn. *Eurasia Journal of Mathematics, Science Technology Education*, 8(1), 59-72.
- Diehl, V.A. (2004). Access to Affordances, Development of Situation Models, and Identification of Procedural Text Problems. *IEEE Transactions on Professional Communications*, 47 (1), 54-64.
- Dillon, J.T. (1988). The remedial status of student questioning. *Journal of Curriculum Studies*, 20, 197-210.
- Dillon, J.T. (1990). *The practice of questioning*. New York: Routledge.
- Donovan, M.S. y Bransford, J.D.(Eds.). (2005). National Research Council. *How students learn: History, mathematics, and science in the classroom*. Washington, DC: National Academy Press.
- Driver, R. y Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. (1996). *Young people images of science*. Buckingham: Open University Press.
- Duschl, R. (2004). *The HS lab experience: Reconsidering the role of evidence, explanation, and the language of science*. Paper prepared for the Committee on

High School Science Laboratories: Role and Vision, July 12-13, National Research Council, Washington, DC. Available at: http://www7.nationalacademies.org/bose/July_12-13_2004_High_School_Labs_Meeting_Agenda.html [consultado 29/04/2013].

Erdogan, I. y Campbell, T. (2008). Teacher questioning and interaction patterns in classrooms facilitated with differing levels of constructivist teaching practices. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1891-1914.

Erickson, G. (1994). Pupils' understanding of magnetism in a practical assessment context: the relationship between content, process and progression. En P. J. Fensham, R. F. Gunstone and R. White (Eds.), *The content of science: A constructivist approach to its teaching and learning* (pp. 80-97). London: The Falmer Press.

Ericsson, K.A. y Kintsch, W. (1995). Long-Term Working Memory. *Psychological Review*, 102(2), 211-245.

Eylon, B. y Linn, M.C. (1988). Learning and instruction: An examination of four research perspectives in science education. *Review of Educational Research*, 58(3), 251-301.

Fernández-Rivera, J.J. (2008). Análisis de los procesos de búsqueda de información textual orientada a la resolución de cuestiones y su influencia en la comprensión de las ciencias: el caso de la evolución. Tesis Doctoral: Universidad de Valencia.

Fernández-Rivera, J.J., Sanjosé, V. y Otero, J. (2007). Influencia del nivel de control de la comprensión y del nivel de comprensión lectora el aprendizaje de la evolución. *Boletín das Ciencias*, 64, 99-101.

Feyerabend, P. (1975). *Against Method*. Londres: Verso.

Finkelstein, N.D., Adams, W.K., Keller, C.J., Kohl, P.B., Perkins, K.K., Podolefsky, N.S., Reid, S. y LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 1, 010103, 1-8.

- Flammer, A. (1981). Towards a theory of question asking. *Psychological Research*, 43, 407-420.
- Flavell, J.H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. En L.B. Resnick, (Eds.). *The nature of intelligence*. Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Flavell, J.H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34, 906 - 911.
- Flavell, J.H. (1987) Speculation about the nature and development of metacognition. En F. Weinert y R. Kluwe (Eds.), *Metacognition, motivation, and understanding* (pp.21 - 29). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Fraser, B. J. (2007). Classroom Learning Environments. En Sandra K. Abell, Norman G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (PP. 103-124). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.). (1998). *International handbook of science education*. Dordrecht, the Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- Gabel, D. (Ed.). (1994). *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Gagné, R. (1970). *Las condiciones del aprendizaje*. Aguilar. Madrid.
- Gaigher, E., Rogan, J. M. y Braun, M. W. H. (2007). Exploring the Development of Conceptual Understanding through Structured Problem-solving in Physics. *International Journal of Science Education* 29(9), 1089–1110.
- Gallástegui, J.R. y Otero, J. (2008). Podemos avaliar a qualidade das perguntas do alumnado? *Boletim das Ciencias*, 66, 195-197.
- García, Devia y Díaz-Granados. (2003). Los trabajos prácticos en la enseñanza de las ciencias naturales. En A. Adúriz-Bravo, G.A. Perafán y E. Badillo. *Actualizaciones en didáctica de las ciencias naturales y las matemáticas* (pp. 91-114). Magisterio. Bogotá.

- Gavelek, J.R. y Raphael, T.E. (1985). Metacognition, instruction, and the role of questioning activities. En D.L. Forrest-Pressley, G.E. Mackinnon, y T.G. Waller (Eds.), *Metacognition, cognition and human performance* (pp. 103-136). Orlando, FL.: Academic Press.
- Gazzaniga, M.S., Ivry, R.B. y Mangun, G.R. (2013). *Cognitive Neuroscience*. WW Norton
- Gholson, B., Witherspoon, A. M., Morgan, B., Brittingham, J. K., Coles, R. y Graesser, A. C. (2009). Exploring the deep-level reasoning questions effect during vicarious learning among eighth to eleventh graders in the domains of computer literacy and Newtonian physics. *Instructional Science*, 37(5), 487- 493.
- Gil-Pérez, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 26-33.
- Gil-Pérez, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 111-121.
- Gil-Pérez, D. y Carrascosa, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236.
- Gil-Pérez, D. y Payá, J. (1988). Los trabajos prácticos de Física y Química y la metodología científica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 2 (2), 73-79.
- Gil-Pérez, D. y Valdés, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 155-163.
- Gil-Perez, D., Carrascosa, J., Furio, C. y Martínez-Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.
- Gire, E., Carmichael, A., Chini, J. J., Rouinfar, A., Rebello, S. y Smith, G. (2010). The effects of physical and virtual manipulatives on students' conceptual learning about pulleys. En K. Gomez, L. Lyons, y J. Radinsky (Eds.), *Learning in the disciplines: Proceedings of the 9th international conference of the learning sciences* (pp. 937-944). Chicago: International Society of the Learning Sciences.

- Glenberg, A. M. y Robertson, D. A. (2000). Symbol grounding and meaning: A comparison of high-dimensional and embodied theories of meaning. *Journal of Memory Language*, 43, 379-401.
- Glenberg, A.M. y Epstein, W. (1985). Calibration of comprehension. *Journal of Experimental Psychology*, 11, 702-718.
- González de la Barrera, L. (2003). *Las Prácticas de Laboratorio de Química en la Enseñanza Universitaria. Análisis crítico y Propuesta de Mejora basada en la Enseñanza-Aprendizaje por Investigación Orientada*. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València.
- Good, T.L., Slavings, R.L., Harel, K.H. y Emerson, H. (1987). Student passivity: a study of question asking in K-12 classrooms. *Sociology of Education*, 60, 181-199.
- Graesser, A. C. y Olde, B. A. (2003). How Does One Know Whether a Person Understands a Device? The Quality of the Questions the Person Asks When the Device Breaks Down. *Journal of Educational Psychology*, 95(3), 524-536.
- Graesser, A. C. y Zwaan, R. A. (1995). Inference generation and the construction of situation models. En C. A. Weaver III, S. Mannes y C. R. Fletcher (Eds.), *Discourse comprehension: Essays in honor of Walter Kintsch* (pp. 117-139). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Graesser, A. C., Rus, V., Cai, Z. y Hu, X. (2012). Question answering and asking. In P. M. McCarthy y C. Boonthum (Eds.), *Applied natural language processing and content analysis: Identification, investigation and resolution*. Hershey, PA: IGI Global.
- Graesser, A. y Person, N. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal*, 31(1), 104-137.
- Graesser, A., Ozuru, Y., y Sullins, J. (2009). What is a good question? En M. G. McKeown y L. Kucan (Eds.), *Threads of coherence in research on the development of reading ability* (pp. 112–141). New York, NY: Guilford Press.

- Graesser, A.C. y Bertus, L. (1998). The construction of causal inferences while reading expository texts on science and technology. *Scientific Studies of Reading*, 2, 247-269.
- Graesser, A.C. y Olde, B.A. (2003). How does one know whether a person understands a device? The quality of the questions the person asks when the device breaks down. *Journal of Educational Psychology*, 95, 524-536.
- Graesser, A.C., Olde, B., Pomeroy, V., Whitten, S., Lu, S. y Craig, S. (2005). Inferences and questions in science text comprehension. *Tarbiya*, 36, 103-128.
- Graesser, A.C., Person, N.K. y Huber, J.D. (1992). Mechanisms that generate questions. En T. Lauer, E. Peacock y A.C. Graesser (Eds.). *Questions and Information Systems* (pp. 167-187). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Graesser, A.C.; McMahan, C.L. y Johnson, B. (1994). Question asking and answering. En Gernsbacher A. (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (pp. 517-538). San Diego, CA: Academic Press.
- Grau, R. (1994). ¿Qué es lo que hace difícil una investigación? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 27-35.
- Greeno, J.G. (1989). Situations, mental models, and generative knowledge. En D. Klahr and K. Kotofsky (Eds.) *Complex Information Processing: The Impact of Herbert A. Simon* (pp. 285-318). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gunston, E.R. F. y Mitchell, I.J. (1998) Metacognition and conceptual change, En J.J. Mintzes, J.H. Wandersee, y J.D. Novak (Eds.), *Teaching Science for Understanding: A Human Constructivist View*. San Diego, CA: Academic Press.
- Gunstone, R.F. (1991). Reconstructing theory from practical experience. En Woolnough, B. E. (Ed.), *Practical Science* (pp. 67-77). Milton Keynes: Open University Press.
- Harper, K., Etkina, E. y Lin, Y. (2003). Encouraging and analysing student questions in a large physics course: Meaningful patterns for instructors. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (8), 776-791.

- Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J. y Gunstone, R. (2000). What is the Purpose of this Experiment? Or Can Students Learn Something from Doing Experiments? *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 655-675.
- Hartford, F. y Good, R. (1982). Training chemistry students to ask research questions. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 559-570.
- Hegarty, M. (2009). Visual Imagery. En Goldstein, B. (Ed), *Sage Encyclopedia of Perception*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Hempel, C.G. (1978), *Filosofía de la Ciencia Natural*. Madrid: Alianza Ed.
- Hodson, D. (1992). Redefining and reorientating practical work in school science. *School Science Review*, 73(264), 65-78.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science, *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313
- Hodson, D. (2009). *Teaching and Learning About Science: Language, Theories, Methods, History, Traditions and Values*. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Hofer, B.K. y Pintrich, P. R. (1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, 67(1), 88-140.
- Hofstein, A. y Kind, P.M. (2012). Learning in and from Science Laboratories. En B.J. Fraser, K.G. Tobin y C.J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 189-207). Dordrecht: Springer.
- Hofstein, A. y Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research, *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217.
- Hofstein, A. y Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: The state of the art. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 8(2), 105-108.

- Hofstein, A., Lunetta, V.N. (2004). The laboratory in science education: Foundation for the 21st century. *Science Education*, 88, 28-54.
- House of Lords Science and Technology Committee. (2006). *Tenth Report of Session 2005-06 Science Teaching in Schools*. Available at: <http://www.publications.parliament.uk/pa/ld200506/ldselect/ldsctech/257/25706.htm#a12> (accessed, January 20, 2008).
- Hurd, P.D. (1983). Science education: The search for new vision. *Educational Leadership*, 41, 20-22.
- Ibáñez, R. y García Madruga, J.A. (2012). Las relaciones entre curiosidad y metacognición en el ámbito educativo. *Infancia y Aprendizaje*, 35 (1), 49-60.
- Insausti, M.J. (1997). Análisis de los trabajos prácticos de química general en un primer curso de universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(1), 123-130.
- Ishiwa, K. (2012). Mecanismos de generación de preguntas sobre textos expositivos con contenido científico: identificación de obstáculos y papel de las metas de lectura. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá.
- Ishiwa, K. , Sanjosé, V., Higes, J.M. y Otero, J. (2006). Influence of readers' goals on information-seeking questions asked on expository texts. Paper presented at the EARLI SIG Meeting on "Metacognition" , Cambridge, UK, 18-20 July.
- Ishiwa, K., Macías, A., Maturano, C. Otero, J. (2009). Generation of information seeking questions when reading science texts for understanding. *Journal of the Learning Sciences*, under editorial revision.
- Ishiwa, K., Otero, J. y Sanjosé, V. (2009). Generation of information- seeking questions on Scientific texts under Different Reading Goals. Enviado a *Journal of Educational psychology*.
- Ishiwa, K., Sanjosé y Otero, J. (2012). Questioning and Reading goals: Information-seeking questions asked on scientific text read under different task conditions. *British Journal of Educational Psychology*, 82(3), 1-18.

- Jaakkola, T. y Nurmi, S. (2008). Fostering Elementary School Students' Understanding of Simple Electricity by Combining Simulation and Laboratory Activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(4), 271-283. (Available online via Digital Object Identifier link: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2729.2007.00259.x>) Javal, E. (1905/1978).
- Jaakkola, T., Nurmi, S. y Lehtinen, E. (2010). Conceptual change in learning electricity: using virtual and concrete external representations simultaneously. En L. Verschaffel, E. De Corte, T. de Jong y J. Elen (Eds.) *Use of representations in reasoning and problem solving. Analysis and improvement: New Perspectives in Learning and Instruction Series* (pp. 133-152). NY: Routledge.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. y Díaz, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 359-370.
- Johnson, R.T. y Johnson, D.W. (1987). Cooperative learning and the achievement and socialization crises in science and mathematics classrooms. En A. B. Champagne y L. E. Hornig (Eds.), *Students and science learning* (pp. 67-93). Washington, DC: AAAS.
- Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P.N. (1998). Imagery, Visualization, and Thinking. En J. Hochberg (Ed.), *Perception and Cognition at Century's End* (pp. 441- 67). San Diego: Academic Press.
- Karabenick, S.A. (1996). Social Influences on Metacognition: Effects of Colearner Questioning on Comprehension Monitoring. *Journal of Educational Psychology*, 88, 689-703
- Kennedy, D. (2012). Practical work in Ireland: A time of reform and debate. *Eurasia Journal of Mathematics, Science Technology Education*, 8(1), 21-34.
- Kerr, J.F. (1964). *Practical work in school science*. Leicester: University Press.

- Kerry, T. (1987). Classroom questions in England. *Questioning Exchange*, 1, 32-33.
- Kidman, G. (2012). Australia at the Crossroads: A Review of School Science Practical Work. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 8(1), 35-47.
- King, A. (1989). Effects of self-questioning training on college students' comprehension of lectures. *Contemporary Educational Psychology*, 14, 366-381.
- King, A. (1992). Comparison of self-questioning, summarizing, and notetaking review as strategies for learning from lectures. *American Educational Research Journal*, 29, 303-323.
- King, A. (1994). Autonomy and question asking: The role of personal control in guided student generated questioning. *Learning and Individual Differences*, 6, 163-185.
- King, A. (1994). Guiding knowledge construction in the classroom: Effects of teaching children how to question and how to explain. *American Educational Research Journal*, 31, 338-368.
- Kintsch, W. (1974). *The representation of meaning in memory*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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.
- Kintsch, W. y van Dijk, T. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 85, 363-394.
- Klahr, D., Triona, L.M., y Williams, C. (2007). Hands on what? The relative effectiveness of physical vs. virtual materials in an engineering design project by middle school children. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 183-203.
- Klainin, S. (1988). Practical Work and Science Education. In P. Fensham (Ed)

- LaFrance, M. (1992). Questioning Knowledge Acquisition. En T. Lauer, E. Peacock, A.C. Graesser (Eds.), *Questions and Information Systems* (pp. 11-28). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Latour, B. y S. Woolgar. (1995). *Laboratory Life. The Social Construction of Scientific Facts*. London: Sage.
- Lazarowitz, R. y Tamir. P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. En D.L. Gabel (Eds.), 1994, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 94-130). New York: MacMillan Pub Co.
- Lederman. N.G. (1999). Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice: Factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (8), 916-929.
- Leite, L. y Figueroa, A. (2004). As actividades laboratoriais e a explicação científica em manuais escolares de ciências. *Alambique*, 39, 20-30.
- León, J.A. y Pérez, O. (2003). Taxonomías y tipos de inferencias. En J.A. León (Ed.), *Conocimiento y discurso. Claves para inferir y comprender* (pp. 45-65). Madrid: Pirámide
- Linn, M.C. (1997). The role of the laboratory in science learning. *Elementary School Journal*, 97(4), 401-417.
- López, M. (2008). Los laboratorios virtuales aplicados a la biología en la enseñanza secundaria. Una evaluación basada en el modelo "CIPP". Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Lozano, O., Solbes, J. y Garcia, R. (2012). Contribución de la ciencia recreativa al desarrollo de competencias argumentativas y actitudinales. *Alambique*, 71, 70-80.
- Lunetta, V.N. (1998). The school science laboratory: historical perspectives and centers for contemporary teaching. En P. Fensham (Ed.). *Developments and Dilemmas in Science Education* (pp. 169-188). London: Falmer Press.

- Lunetta, V.N. y Hofstein, A. (2003). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88 (1), 28-54.
- Lunetta, V.N., Hofstein, A. y Clough, M. P. (2007). Teaching and learning in the school science laboratory. An analysis of research, theory, and practice. En, S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 405). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mamlok-Naaman, R y Barnea, N. (2012). Laboratory Activities in Israel. *Eurasia Journal of Mathematics, Science Technology Education*, 8(1), 49-57.
- Marbach-Ad, G. y Sokolove, P. G. (2000). Can undergraduate biology students learn to ask better questions? *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 854-870.
- Markman, E.M. (1979). Realizing that you don't understand: Elementary school children's awareness of inconsistencies. *Child Development*, 50, 643-655.
- Marshall, J.A., y Young, E. S. (2006). Preservice teachers' theory development in physical and simulated environments. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 907-937.
- Martínez Torregrosa, J., Domènech Blanco, J.L. Menargues, A. y Guadarrama, G.R. (2012). La integración de los trabajos prácticos en la enseñanza de la química como investigación dirigida. *Educacion Quimica*, 23(núm. extraord. 1), 112-126.
- Martínez, T., Vidal-Abarca, E., Sellés, P. y Gilabert, R. (2008). Evaluación de las estrategias y procesos de comprensión: el Tert de Procesos de Comprensión. *Infancia y Aprendizaje: Revista Trimestral de Estudios e Investigación*, 31 (3), 319-332.
- Masnack, A.M. y Klahr, D. (2003). Error matters: An initial exploration of elementary school children's understanding of experimental error. *Journal of Cognition and Development*, 4, 67-98.
- Mayer, R.E. (2005). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge, USA: Cambridge University Press

- Mayer, R.E. (2009). *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R.E. (2009). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.
- Millar, R. (2004). *The Role of Practical Work in the Teaching and Learning of Science*. Paper prepared for the Committee: High School Science Laboratories: Role and Vision, National Academy of Sciences, Washington DC. York: University of York.
- Mills, B.C., Diehl, V. A., Birkmire, D.P. y Mou, L-C. (1995). Reading procedural texts: effects of purpose for reading and predictions of reading comprehension models. *Discourse Processes*, 20, 79-107.
- Miyake, N. y Norman, D. (1979). To ask a question, one must know enough to know what is not known. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18, 357-364.
- Nathan, M.J., Kintsch, W. y 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.
- National Research Council. (1999). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School, Expanded edition*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Nelson, T.O. y Narens, L. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 1-45). New York: Academic Press.
- Neri de Souza, F. (2006). *Perguntas na aprendizagem de Química no Ensino Superior*. Tesis doctoral. Universidad de Aveiro.
- Novak, J.D. (1979). The reception learning paradigm. *Journal of Research in Science Teaching*, 16(6), 481- 488.
- Olney, A.M., Graesser, A.C. y Person, N.K. (2012). Question generation from concept maps. *Dialogue Discourse*, 3(2), 75 - 99.
- Olympiou, G. y Zacharia, Z. (2012). Blending physical and virtual manipulatives: An

- effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. *Science Education*, 96 (1), 21-47.
- Osborne, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science*, 328, 463-466.
- Osborne, J. y Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections*. London: The Nuffield Foundation.
- Osborne, R.J. y Freyberg, P., 1985. *Learning in Science: The Implications of Children's Science*. Londres: Heinemann.
- Otero, J. (1990). Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: el papel de los esquemas y el control de la propia comprensión. *Enseñanza de las Ciencias*, 8, 17-22.
- Otero, J. (1996). Components of comprehension monitoring in the acquisition of knowledge from science texts. En K.M. Fisher Y M.R. Kibby (Eds.), *Knowledge Acquisition Organization and Use in Biology* (pp. 36-43). Berlin: NATO-Springer Verlag.
- Otero, J. (2002). Noticing and fixing difficulties while understanding science texts. En Otero, J., León, J.A. y Graesser, A.C. (Eds.) *The Psychology of Science Text Comprehension*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates
- Otero, J. (2009). Question generation and anomaly detection in texts. En D. Hacker, J. Dunlosky y A. Graesser (Eds.) *Handbook of Metacognition in Education*. New York: Routledge.
- Otero, J. y Campanario, J.M. (1990). Comprehension evaluation and regulation in learning from science texts. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 447-460.
- Otero, J. y Graesser, A. (2001). PREG: Elements of a model of question asking. *Cognition and Instruction*, 19, 143-175.

- Otero, J., Campanario, J.M. y Hopkins, K.D. (1992). The relationship between academic achievement and metacognitive comprehension monitoring ability of Spanish secondary school students. *Educational and Psychological Measurement*, 52, 419-429)
- Otero, J., Ishiwa, K., Caldeira, M.H., Macías, A., Maturano, C., Sanjosé, V. (2004). Question asking and question generation on scientific texts. Comunicación presentada en el “1st International Seminar on Research on Questioning”, Universidade de Aveiro, 17-20 Noviembre.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: a dual coding approach*. Oxford. England: Oxford University Press.
- Palincsar, A.S. y Brown, A. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension monitoring activities. *Cognition y Instruction*, 1, 117-175.
- Pascual, G. y Goikoetxea, E. (2002). Resumen y formulación de preguntas: efectos sobre la comprensión lectora en niños de Primaria. *Infancia y Aprendizaje*, 26 (4), 439-450.
- Payá, J. (1991). *Los trabajos prácticos en la enseñanza de la física y química: un análisis crítico y una propuesta fundamentada*. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València.
- Pedrosa de Jesús, M.H. y Maskill, R. (1990). Teachers' questioning practices in some portuguese science classes. *Revista Portuguesa de Educação*, 3, 37-56.
- Petrucci, D., Antúnez, G.C., Pérez, S.M. (2008). Concepciones de los docentes universitarios sobre los trabajos prácticos de laboratorio. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 8(1), .
- Pezzulo, G., Barsalou, L.W., Cangelosi, A., Fischer, M.A., McRae, K. y Spivey, M. (2011). The mechanics of embodiment: A dialogue on embodiment and computational modeling. *Frontiers in Cognition*, 2(5), 1-21.
- Piaget, J. (1970). *Genetic epistemology*. NY: Columbia University Press.

- Polman, J. L. (1999). *Designing project-based science: Connecting learners through guided inquiry*. New York: Teachers College Press.
- Pylyshyn, Z.W. (2003). *Seeing and Visualizing: It's Not What You Think*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Ram, A. (1991). A Theory of Questions and Question Asking. *The Journal of the Learning Sciences, 1*, 273-318.
- Richardson, A., Sharma, M.D. and Khachan, J. (2008) What are students learning in practicals? A cross sectional study in university physics laboratories. *CAL-laborate International, 16*, 20-27.
- Riley, M.S., Greeno, J. G. y Heller, J. I. (1983). Development of children's problem-solving ability in arithmetic. En H. P. Ginsburg (Ed.), *The development of mathematical thinking* (pp. 153-196). New York: Academic Press.
- Roca, T. M. (2007). *Les preguntes en l'aprenentatge de les ciències*. Tesis doctoral. UAB.
- Rosenshine, B., Meister, C. y Chapman, S. (1996). Teaching students to generate questions: a review of the intervention studies. *Review of Educational Research, 66*, 181-221.
- Roth, W.M. (1995). *Authentic science: Knowing and learning in open-inquiry science laboratories*. Dordrecht: Kluwer.
- Rowe, M.B. (1987). Using wait time to stimulate inquiry. En W. W. Wilen (Ed.), *Questions, questioning techniques, and effective teaching* (pp. 95-106). Washington, DC: National Education Association.
- Sadoski, M. y Paivio, A. (2001). *Imagery and text: A dual coding theory of reading and writing*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Salas Cabrera, H. (1983). Actividad práctica de genética de poblaciones para alumnos de C.O.U. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, 1(2)*, 109-114.

- Sanjosé, V.; Torres, T. y Soto, C. (2013). Effects of scientific information format on the comprehension self-monitoring processes: question generation. Pendiente de publicación en *Revista de Psicodidáctica*, 18(2). DOI: 10.1387/RevPsicodidact.4623.
- Scardamalia, M. y Bereiter, C. (1992). Text-based and knowledge-based questioning by children. *Cognition and Instruction*, 9, 177-199.
- Schnotz, W. (2005). An Integrated Model of Text and Picture Comprehension. En Mayer (Ed.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press. New York.
- Schnotz, W., Bannert, W. y Seufert, T. (2002). Towards an integrative view of text and picture comprehension: Visualization effects on the construction of mental models. En Graesser, J. Otero y J. A. Leon (Eds.), *The psychology of science text comprehension*(pp. 385-416). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schraw, G., Crippen, K. y Hartley, K. (2006). Promoting self-regulation in science education: Metacognition as part of a broader perspective on learning. *Research in Science Education*, 36(1-2), 111-139.
- Séré, M.G., Leach, J., Niedderer, H., Paulsen, A.C., Psillos, D., Tiberghien, A. y Vincenti, M. (1998). Final report of the project 'Labwork in Science Education' to the European Commission. En <http://www.didasco.u-psud.fr/Documents/RapportFinalLSE>.
- Singer, H y Donlan, D. (1982): Active Comprensión: Problem Solving Schema with Questions Generation for Comprehension of Complex Short Stories. *Reading Research Quarterly*, 17 (2), 166-184.
- Singer, R.N. (1977). To err or not to err: A question for the instruction of psychomotor skills. *Review of Educational Research*, 47, 479-489.
- Singer, S.R., Hilton, M.L., y Schweingruber, H.A. (Eds.). (2005). *America's Lab Report: Investigations in High School Science*. Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision. Washington, DC: The National Academies Press.

- Slavin, R.E. (1983). When Does Cooperative Learning Increase Students Achievement? *Psychological Bulletin*, 49, 429-455.
- Slavin, R.E. (1995). *Cooperative learning: Theory, research, and practice*. Boston: Allyn y Bacon.
- Smith, C.L., Maclin, D., Houghton, C. y Hennessey, M. (2000). Sixth-grade students' epistemologies of science: The impact of school science experiences on epistemological development. *Cognition and Instruction*, 18, 349-422.
- Solaz-Portolés, J.J., Sanjosé, V. y Gómez, A. (2011). *Aprendizaje basado en problemas en la Educación Superior: una metodología necesaria en la formación del profesorado*. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 25, 177-186.
- Solbes, J. Ruiz, J.J. y Furió, C. (2010). Debates y argumentación en las clases de física y química. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 63, 65-75.
- Šorgo, A., y Špernjak, A. (2012). Practical work in biology, chemistry and physics at lower secondary and general upper secondary schools in Slovenia. *Eurasia Journal of Mathematics, Science Technology Education*, 8(1), 11-19.
- Strand-Cary, M. y Klahr, D. (2008). Developing elementary science skills; Instructional effectiveness and path independence. *Cognitive Development* 23 , 488-511.
- Tamir, P. y García Rovira, M. (1992). Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de texto de ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 3-12.
- Tasker, R. (1981). Children's views and classroom experiences. *Australian Science Teachers' Journal*, 27, 33-37.
- Tobin, K. (1987). The role of wait time in higher cognitive level learning. *Review of Educational Research*, 57(1), 69-95.
- Tobin, K. (1990). Research on science laboratory activities: In pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics*, 90, 403-418.

- Tobin, K. y Gallagher, J.J. (1987). The role of target students in the science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(1), 61-75.
- Toplis, R. y Allen, M. (2012). I do and I understand?' Practical work and laboratory use in United Kingdom schools *Eurasia Journal of Mathematics, Science Technology Education*, 8(1), 3-9.
- Torres, T. y Sanjosé, V. (2014). Generación de preguntas sobre información no textual: una validación empírica del modelo Obstáculo-Meta en la comprensión de dispositivos experimentales de ciencias. Aceptado para su publicación en la revista *Universitas Psychologica*, 13 (1).
- Torres, T., Duque, K.J., Ishiwa, K., Sánchez, G., Solaz-Portolés, J.J. y Sanjosé, V. (2012). Preguntas de los estudiantes de educación secundaria ante dispositivos experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 30 (1), 39-60.
- Torres, T.; Milicic, B. y Sanjosé, V. (2013). Un estudio del contenido científico de las preguntas formuladas por estudiantes cuando intentan comprender dispositivos experimentales. Aceptado para su publicación en la revista *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 27.
- Torres, T.; Milicic, B.; Soto, C. y Sanjosé, V. (2013). Generating students' information seeking questions in the scholar lab: what benefits can we expect from inquiry teaching approaches? Aceptado para su publicación en la revista *Eurasia Journal of Mathematics, Science Technology Education*.
- Toth, E. E., Morrow, B. L., y Ludvico, L. R. (2009). Designing blended inquiry learning in a laboratory context: A study of incorporating hands-on and virtual laboratories. *Innovative Higher Education*, 33(5), 333 -344.
- Toth, E.E., Klahr, D. y Chen, Z. (2000). Bridging research and practice: A cognitively-based classroom intervention for teaching experimentation skills to elementary school children. *Cognition and Instruction*, 18(4), 423-459.
- Trabasso, T. y Magliano, J.P. (1996). Conscious Understanding During Comprehension. *Discourse Processes*, 21, 255-287.

- Triona, L.M. y Klahr D. (2003) Point and click or grab and heft: comparing the influence of physical and virtual instructional materials on elementary school students' ability to design experiments. *Cognition and Instruction*, 21, 149-173.
- Trumper, R. (2003). The physics laboratory—a historical overview and future perspectives. *Science Education*, 12, 645-670.
- Truyol, M.E., y Gangoso, Z. (2012). Caracterización del proceso de resolución de problemas: el caso de los estudiantes. 97th Reunión Nacional de la Asociación Física Argentina. Córdoba, Septiembre de 2012.
- Tversky, B. (2001). Spatial Schemas in Depictions. En M. Gattis (Ed.), *Spatial Schemas and Abstract Thought* (pp. 79-111). Cambridge, Mass: MIT Press.
- Unesco. (2000). Science Education for Contemporary Society: Problems, Issues and Dilemmas.
- Van den Berg, E., Katu, N. y Lunetta, V.N. (1994). *The role of 'experiments' in conceptual change*. Paper Presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Anaheim, CA
- Van den Broek, P. y Lorch, R.F., Jr. (1993). Network representations of causal relations in memory for narrative texts: Evidence from primed recognition. *Discourse Processes*, 16, 75-98.
- Van den Broek, P., Young, M., Tzeng, Y. y Linderholm, T. (1999). The landscape model of reading: inferences and the online construction of memory representation. En H. van Oostendorp y S. R. Goldman (Eds.), *The construction of mental representations during reading* (pp. 71-98). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Van der Meij, H. (1990). Effects of prior knowledge on question asking. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 4, 87-96.
- Van der Meij, H. (1994). Student questioning: A componential analysis. *Journal of Individual Differences and Learning*, 6(2), 137-161.

- Van Dijk, T. y Kintsch. W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- Van Dijk, T.A. (1993). Principles of critical discourse analysis. *Discourse y Society*, 249-283.
- Vavra, K. L., Janjic-Watrich, V., Loerke, K., Phillips, L. M., Norris, S. P. y Macnab, J. (2011). Visualization in science education. *Alberta Science Education Journal*, 41(1), 22-30.
- Veenman, M.V.J., Van Hout-Wolters, B.H. y Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: Conceptual and methodological considerations. *Metacognition and Learning*, 1, 3-14.
- Vekiri. (2002). What Is the Value of Graphical Displays. *Educational Psychology Review*, 14(3), 261-312.
- Verdú, R., Osuna, L. y Martínez Torregrosa, J. (2002). Enseñar y aprender en una estructura problematizada, *Alambique*, 23, 47-55.
- Vidal-Abarca, E., Gilabert, R. y Rouet, J.F. (2005). El papel de las preguntas intercaladas en los textos de ciencias. *Tarbiya: Revista de investigación e innovación educativa*, 36, 129-147.
- Vilches, A. y Gil-Pérez, D. (2012). The Supremacy of the Constructivist Approach in the Field of Physics Education: Myths and Real Challenges. *Tréma*, 38, 87-104
- Vilches, A. y Gil-Pérez, D. (2012). The Supremacy of the Constructivist Approach in the Field of Physics Education: Myths and Real Challenges. *Tréma*, 38, 87-104.
- Wagensberg, J. (1999). Ciencia, Arte y Revelación. En *Ideas para la imaginación impura. 53 reflexiones en su propia sustancia* (pp. 83-95). Barcelona: Tusquets Editores, colección Metatemas, nº 54.
- Wang, M. C., Haertel, G. D. y Walberg H. J. (1993). Toward a knowledge base for school learning. *Review of Educational Research*, 63(3), 249-294.

- Watson, J. (1994). Diseño y realización de investigaciones en las clases de ciencias, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 57-65.
- Watson, R. (2000). The role of practical work. En M. Monk y J. Osborne (Eds.), *Good practice in science teaching: What research has to say* (pp. 57-71). Buckingham: Open University Press.
- Watts, M., Gould, G. y Alsop, S. (1997). Questions of understanding: categorising pupils' questions in science. *School Science Review*, 79(286), 57-63.
- Wellington, J.J. (1981). 'What's supposed to happen sir?: some problems with discovery learning, *School Science Review*, 63(222), 167-173.
- Wenger, E. (1998). *Communities of practice: Learning, meaning, and identity*. New York: Cambridge University Press.
- White, B.Y. y Frederiksen, J.R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3-118.
- White, R.T. (1996). The link between the laboratory and learning. *International Journal of Science Education*, 18, 761-774.
- Wilkenson, J.W. y Ward, M. (1997). The purpose and perceived effectiveness of laboratory work in secondary schools. *Australian Science Teachers' Journal*, 43(2), 49-55.
- Williams, S. M. y Hmelo, C. E. (1998). Guest editors' introduction. *The Journal of the Learning Sciences*, 7, 265-270.
- Windschitl, M. (2002). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), 112-143.
- Winn, W., Stahr, F., Sarason, C., Fruland, R., Oppenheimer, P. y Lee, Y.L. (2006). Learning oceanography from a computer simulation compared with direct experience at sea. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 25-42.

- Woolnough, B. E. y Allsop, T. (1985). *Practical Work in Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Yager, R. E. (1984). The major crisis in science education. *School Science and Mathematics*, 84, 89-198.
- Yueh, H.P. y Sheen, H.J. (2009). Developing experiential learning with a cohort blended laboratory training in nano-bio engineering education. *International Journal of Engineering Education*, 25(4), 712-722.
- Zabrucky, K. y Ratner, H.H. (1986). Children's comprehension monitoring and recall of inconsistent stories. *Child Development*, 57, 1401-1418.
- Zabrucky, K. y Ratner, H.H. (1989). Effects of reading ability on children's comprehension evaluation and regulation. *Journal of Reading Behavior*, 21, 69-83.
- Zabrucky, K., Ratner, H.H. (1992). Effects of passage type on comprehension monitoring and recall in good and poor readers. *Journal of Reading Behavior*, 24, 373-391.
- Zacharia, Z. C. y Constantinou C. P. (2008). Comparing the Influence of Physical and Virtual Manipulatives in the Context of the Physics by Inquiry Curriculum: The Case of Undergraduate Students' Conceptual Understanding of Heat and Temperature. *American Journal of Physics*, 76, 425-430.
- Zacharia, Z. C., Olympiou, G., y Papaevripidou, M. (2008). Effects of experimenting with physical and virtual manipulatives on students' conceptual understanding in heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 1021-1035.
- Zacharia, Z.C. (2007). Comparing and combining real and virtual experimentation: An effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23, 120-132.
- Zacharia, Z.C. y Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. *Learning and Instruction*, 21, 317-331.

Zacharia, Z.C., Olympiou, G. y Papaevripidou, M. (2008). Effects of experimenting with physical and virtual manipulatives on students' conceptual understanding in heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 1021-1035.

Zakaria, E. y Iksan, Z. (2007). Promoting cooperative learning in science and mathematics education: A Malaysian perspective. *Eurasia Journal of Mathematics, Science Technology Education*, 3(1), 35-39.

Zimmerman, B.J. (1990). Self-regulated learning and academic achievement: an overview. *Educational Psychologist*, 25, 3-17.

ESTUDIOS EMPÍRICOS

CAPÍTULO 5

Preguntas de los Estudiantes ante Dispositivos Experimentales:

Un procedimiento para suscitarlas y una
propuesta para su clasificación

Referencia:

Torres, T.; Duque, J., Ishiwa, K., Sánchez, G., Solaz-Portolés, J.J. y Sanjosé, V. (2012). Preguntas de los estudiantes de Educación Secundaria ante dispositivos experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(1), 49-60.

Preguntas de los estudiantes de Educación Secundaria ante dispositivos experimentales

Resumen

Las preguntas forman parte esencial del trabajo que desarrollan los científicos para construir nuevo conocimiento. Sin embargo, los alumnos formulan un número muy escaso de preguntas en las situaciones usuales de aula. En este trabajo se realiza una revisión de las investigaciones realizadas sobre génesis de preguntas y se describen tres estudios empíricos realizados con estudiantes de diferentes niveles educativos ante dispositivos experimentales. Los objetivos fueron: 1) Estimular y analizar las preguntas de los estudiantes cuando intentan comprender los dispositivos; 2) Contrastar la idea de que la mayoría de preguntas destinadas a obtener información tienen su origen en inferencias fallidas; 3) Estudiar la influencia del nivel de conocimientos sobre las preguntas formuladas. El procedimiento produjo una cantidad aceptable de preguntas para obtener información, motivadas por conciencia de incompreensión de los estudiantes. Los resultados obtenidos apoyan la taxonomía de preguntas propuesta y muestran que los estudiantes de mayor conocimiento formulan más preguntas destinadas a construir un modelo científico del funcionamiento de los dispositivos. Los resultados se replican de forma consistente.

Palabras clave: preguntas, aprendizaje de las ciencias, dispositivos experimentales, educación secundaria

Secondary Education Students' Questions on Experimental Devices

Abstract: Questions are essential in the construction of new knowledge by scientists. Nevertheless, students ask very few questions in usual classroom situations. In this paper we review the research work on question generation and describe three empirical studies conducted with students of different educational levels facing experimental devices. The aims were: 1) To stimulate and to analyze the questions asked by students when they try to understand the devices; 2) To probe the idea that most of the information seeking questions originated from failed inferences; 3) To study the influence of the level of students' knowledge on the questions asked. The procedure produced a significant quantity of information seeking questions, caused by the students' awareness of misunderstanding. The results obtained support the taxonomy of questions proposed and show that higher knowledge students ask significantly more questions addressed to the scientific model construction than lower knowledge students. The results are replicated consistently.

Keywords: questions, science learning, experimental devices, secondary education

Preguntas de los estudiantes de Educación Secundaria ante dispositivos experimentales

Introducción

Hay una especie de ‘consenso didáctico’ entre profesores sobre la importancia que tienen las preguntas de los estudiantes para el aprendizaje profundo de los contenidos. Se aduce que las preguntas promueven el aprendizaje activo y la construcción del conocimiento, tanto a nivel personal como social (Flammer, 1981; Dillon, 1988; van der Meij, 1994; Roca, 2009): *“El verdadero aprendizaje se caracteriza no tanto por responder preguntas como por hacerlas”* (UNESCO 1980, citado por Chin, Brown & Bruce 2002). De hecho, el conocimiento científico se origina a partir de “buenas preguntas” formuladas con precisión y originalidad.

Muchas dificultades de los estudiantes en el estudio de las ciencias proceden de la falta de control de su propia comprensión (Campanario y Otero, 2000). La formulación de preguntas puede ayudar a estos estudiantes: *“(…) la formulación de preguntas representa uno de los primeros medios mediante el cual los individuos son capaces de avanzar en su propia comprensión y, como tal, representa una poderosa actividad metacognitiva”* (Gavelek y Raphael, 1985, pp 114). En efecto, varios estudios demuestran que si se entrena a los estudiantes para que hagan preguntas, se mejora la comprensión, el aprendizaje y la memoria (Craig et al., 2000; Ciardello, 1998; Rosenshine, Meister y Chapman, 1996; King, 1994, 1992, 1989;; Palincsar y Brown, 1984, Singer y Donlan, 1982).

¿Qué clase de preguntas conviene estimular en los estudiantes? Graesser, McMahan y Johnson (1994) diferencian 4 clases de preguntas. Las dirigidas a: a) solventar

déficits de conocimiento; b) examinar y comprobar el conocimiento común; c) coordinar acciones sociales; d) controlar la conversación y la atención. Aunque todas ellas juegan un papel importante en la vida diaria, desde el punto de vista del aprendizaje, el primer tipo de preguntas es el más interesante. Este tipo de preguntas, llamadas ‘preguntas que buscan información’ (*information seeking questions*, ISQ), han sido escogidas por muchos autores como ‘prototípicas’, ‘sinceras’ o ‘genuinas’ (Otero y Graesser, 2001; Van der Meij, 1994; Ram, 1991; Flammer, 1981; Berlyne y Frommer, 1966).

En el presente trabajo, y dentro del desarrollo de la investigación en este campo (puede encontrarse una revisión en Sanjosé, 2010) presentamos 3 estudios empíricos con estudiantes de secundaria ante dispositivos científicos como los que se encuentran en los laboratorios escolares y los museos de ciencia. En estos estudios se plantearon tres objetivos:

1) Estimular y analizar las preguntas de los estudiantes cuando intentan comprender los dispositivos experimentales. De este modo, podremos abordar los otros objetivos.

2) Contrastar si esas preguntas proceden, en su mayoría, de inferencias intentadas y no logradas durante la construcción de una representación mental de la información.

3) Estudiar cómo cambian las preguntas de los estudiantes a medida que adquieren conocimiento científico con la instrucción.

Dificultades para formular preguntas en las aulas

A pesar del efecto beneficioso de realizar preguntas, los estudiantes formulan muy pocas preguntas en situaciones normales de clase. Un alumno típico necesita 6-7 horas de clase para formular una pregunta, según un estudio realizado por Graesser y Person (1994) desde Jardín de Infancia hasta 12º grado. Otros estudios anteriores obtuvieron también valores muy pobres (Dillon, 1988; Good et al., 1987).

Sin embargo, en situaciones en las que se estimula a los estudiantes a realizar preguntas, se obtienen resultados muy diferentes. Graesser y Person (1994) encontraron 26,5 preguntas por estudiante y hora en tutorías individuales, aunque muy pocas de ellas

reflejaban un intento de comprensión ‘profunda’ del contenido. Costa et al. (2000) encontraron promedios entre 3 y 4 preguntas por alumno en un estudio sobre preguntas formuladas ante un texto de ciencias a nivel escolar.

Es decir, los alumnos son capaces de hacer preguntas, pero no las formulan en situaciones de clase normales. ¿Por qué sucede esto? Una primera razón es que hacer buenas preguntas no parece estar bien recompensado por los profesores. A pesar de que las preguntas de los profesores con una de las estrategias didácticas más utilizadas (Bellack et al., 1966; Durkin, 1978-1979; Raphael y Wonnacott, 1985; Dillon, 1988) sólo un porcentaje bajo de las preguntas de los profesores son preguntas ‘profundas’ (Kerry, 1987; Dillon, 1988) dirigidas a partes importantes de los temas abordados (Alexander et al., 1994).

Un segundo factor explicativo se encuentra en los mecanismos meta-cognitivos y socio-afectivos de la generación de preguntas. Una pregunta es un proceso que depende del control de la comprensión del sujeto y en varios estudios se ha encontrado niveles preocupantemente bajos de esta habilidad en alumnos de los últimos cursos de educación secundaria (Sanjosé, Fernández-Rivera y Vidal-Abarca, 2010; Otero y Campanario, 1990; Glenberg y Epstein, 1985; Baker, 1979; Marckman, 1979). Las variables socio-afectivas influyen en la fase de edición social de las preguntas. Por ejemplo, Good et al. (1987) encontraron que la autoestima parece inhibir la expresión de las preguntas, en unos casos por miedo al ridículo (alumnos de rendimiento bajo) y en otros por miedo a no estar a la altura de las expectativas (alumnos de rendimiento muy alto).

Finalmente, en el sistema educativo están mucho más desarrollados los métodos para valorar la calidad de las respuestas que los métodos que valoran la calidad de las preguntas. No es necesario plantearse buenas preguntas para obtener calificaciones aceptables. Algunos estudios sobre evaluación muestran una relación baja-moderada entre calificaciones y las destrezas de control de la comprensión que originan las preguntas (Otero, Campanario y Hopkins, 1992; Campanario et al., 1994).

¿Cómo se genera una pregunta?

Los mecanismos psicológicos que motivan la formulación de determinadas preguntas no han sido aún bien estudiados y, por tanto, no es fácil diseñar estrategias didácticas para provocarlas.

En su análisis del proceso de generación de preguntas por estudiantes, Dillon (1990) indica que el estadio inicial consiste en un “estado de perplejidad”. El estado de perplejidad se produce cuando la persona que intenta comprender la información encuentra algún fragmento que supone novedad, sorpresa o incongruencia con lo que se esperaba. En los tres casos se implica el conocimiento previo del sujeto y una “conciencia de incompreensión”.

Varios autores han estudiado la influencia del conocimiento previo del sujeto sobre las preguntas que formula (Van der Meij, 1990; La France, 1992; Graesser y Olde, 2003). Dos hipótesis alternativas se han formulado (Otero y Graesser, 2001): a) déficit de conocimiento, es decir, se pregunta cuando hay carencia de conocimiento sobre algo y, b) conflicto cognitivo, que afirma que cuanto mayor es el conocimiento previo, mayor es la probabilidad de encontrar incompatibilidades o inconsistencias y de formular preguntas. Esta segunda hipótesis ha sido apoyada en varios trabajos como el de Miyake y Norman (1979), donde los novatos que leyeron un manual difícil hicieron menos preguntas que los expertos en el tema. También Graesser y Olde (2003) encontraron que quienes mejor comprendían el funcionamiento de un dispositivo, formulaban mayor número de preguntas cuya respuesta permitiría reparar un dispositivo roto, que era la tarea solicitada.

La “conciencia de incompreensión” depende directamente del control de la comprensión del sujeto, el cual consta de dos fases diferenciadas: evaluación y regulación de la comprensión (Otero 1996; Zabucky y Ratner, 1986, 1989, 1992; Baker 1985). La evaluación se refiere a la identificación de un problema en la comprensión de una información, mientras la regulación consiste en el conjunto de acciones que se desarrollan con el fin de solucionar el problema, una vez se ha detectado. Una de las acciones posibles es formular preguntas para obtener la información necesaria para salvar el problema de

comprensión detectado. Naturalmente, la “conciencia de incomprensión” presupone un intento de comprensión por parte de la persona.

La comprensión consiste en la construcción de diferentes representaciones mentales por parte del sujeto a partir de una información suministrada. La incomprensión se define entonces como imposibilidad de construir representaciones mentales al nivel pretendido. Greeno (1989) y Gangoso (2004), tomando como base la teoría desarrollada por Kintsch y van Dijk (Kintsch, 1998; van Dijk y Kintsch, 1983; Kintsch y van Dijk, 1978) han propuesto la existencia de varios niveles de representación mental que se ponen en juego cuando se intenta comprender la ciencia. Entre ellos se encuentra el Modelo de la Situación (nivel ontológico concreto de objetos y eventos del Mundo ordinario), el Modelo Científico (nivel abstracto) y el Modelo Simbólico o Formalizado (lógico, matemático). Dos procesos cognitivos aparecen cuando el sujeto intenta construir estas representaciones: 1) Activación de conocimiento previo; 2) Realización de inferencias para crear conocimiento no explicitado en la información suministrada.

Las inferencias como origen de las preguntas destinadas a obtener información

Las inferencias son el proceso cognitivo más importante que interviene en la comprensión, es decir, en el proceso de construcción de las representaciones mentales de alto nivel (Graesser y Zwaan, 1995). Esperamos que la mayoría de los problemas de incomprensión en ciencias procedan de los intentos fallidos de realizar inferencias para construir el modelo de la situación o el modelo científico. Muchas taxonomías sobre inferencias se han propuesto tomando como criterios aspectos como la cantidad de recursos cognitivos implicados, la fuente de información, el contexto, el locus, etc. (León y Pérez, 2003; Graesser, Singer y Trabasso, 1994; McKoon y Ratcliff, 1992). Nosotros adoptamos en este estudio la propuesta de Trabasso y Magliano (1996) surgida en una investigación sobre comprensión de las narraciones. Estos autores propusieron que la forma más sencilla de clasificar las inferencias conscientes provenía de metas básicas de los sujetos como obtener mejor descripción de los personajes, ambientes y sucesos, justificar las acciones,

las intenciones y los hechos, predecir acontecimientos futuros en la narración. Por tanto, la taxonomía propuesta por estos autores, es la siguiente:

-Asociaciones, cuando la actividad mental se dedica a conocer mejor las entidades mencionadas, por ejemplo mediante características y atributos particulares de objetos y hechos.

-Explicaciones, cuando el sujeto intenta encontrar la cadena causal que justifica las características particulares de los acontecimientos o de los objetos, o las intenciones de las personas.

-Predicciones, cuando la persona que procesa va más allá de lo recogido en el texto y desea adelantar los acontecimientos futuros ó las consecuencias posibles en el caso de que las circunstancias fueran diferentes a las expuestas explícitamente.

Estas inferencias se corresponden directamente con competencias científicas básicas como describir en términos apropiados los objetos y fenómenos, explicarlos causalmente y anticipar consecuencias de los hechos, bien en las mismas en condiciones, bien en condiciones similares a las explicitadas. Si las ISQ, formuladas durante el intento de comprensión, proceden de inferencias intentadas y no logradas, los tipos de pregunta realizadas deberían ajustarse a la siguiente taxonomía:

T1.- Preguntas destinadas a conocer mejor las entidades (objetos, eventos), sus características o propiedades. Sus expresiones esperables son “*¿Qué es X?, ¿Cómo es X? ¿Dónde se produce X? ¿Cuándo se produce X?*”.

T2.- Preguntas dirigidas a justificar por qué los objetos y eventos son tal como son. Pueden ser preguntas de antecedente causal, de consecuente, o asociadas a objetivos o intenciones humanas. Sus expresiones serían: “*¿Por qué X?, ¿Cómo es que X?, ¿Para qué X? ¿Qué se pretende con X?*”.

T3.- Preguntas que pretenden anticipar eventos futuros o eventos posibles en circunstancias distintas a las explicitadas. Podrían reconocerse por expresiones como “*¿Qué pasará después?, ¿Qué pasaría en el caso de que...?, Si sucede Y, ¿qué pasaría entonces?*”.

Esta taxonomía para preguntas ha sido utilizada con éxito antes (Ishiwa et al., 2010; Macías y Maturano, 2005; Maturano y Macías, 2004) en estudios sobre preguntas de estudiantes de Secundaria en condiciones de lectura de textos y estudio de dibujos-esquemas sobre fenómenos físicos ordinarios.

Hipótesis

En las diferentes condiciones experimentales y en los distintos niveles educativos las preguntas de investigación son las mismas: ¿Cómo se puede estimular la generación de preguntas por los estudiantes? ¿Las preguntas formuladas, proceden realmente de inferencias intentadas y no logradas? En ese caso, ¿encajan las preguntas en la taxonomía asumida? ¿Cómo afecta el conocimiento previo a la formulación de las preguntas? Tras la revisión teórica podemos convertir estas preguntas en las siguientes hipótesis:

H1: Las preguntas de los estudiantes de secundaria, formuladas para intentar comprender el funcionamiento de dispositivos experimentales, procederán de inferencias intentadas y no logradas. Por ello, podrán ser clasificadas según una taxonomía -definida anteriormente- vinculada a los tipos de inferencias propuestos por Trabasso y Magliano (1996).

H2: Los estudiantes de mayor conocimiento previo formularán más preguntas asociadas con la construcción de un modelo científico de los fenómenos presentados en los dispositivos, que los de menor conocimiento previo. Si las preguntas son formuladas ante los obstáculos para construir una cierta representación mental, es de esperar que el lenguaje de la pregunta presente indicadores asociados con los diferentes niveles de representación posible (terminología específica). Por ejemplo, no es lo mismo preguntar: “¿Por qué flota un barco de acero?”, que preguntar: “¿Cómo se logra que el empuje de Arquímedes sea mayor que el peso del barco”? En el primer caso, la pregunta corresponde con un obstáculo en el intento de representar la situación en el mundo ordinario (crear un Modelo de la Situación), mientras en el segundo caso el sujeto está intentando crear una representación física del dispositivo (crear el Modelo Científico). Entonces, esperamos que la cantidad de preguntas dirigidas al modelo científico que los estudiantes formulan crezca con el conocimiento previo.

Para contrastar estas hipótesis realizamos tres estudios exploratorios. Con el fin de obtener todo el espectro posible de preguntas, se consideraron varias de las situaciones más habituales en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias: leer textos explicativos sobre los dispositivos experimentales, observar su funcionamiento (sin manipulación) y manipularlos en situación de laboratorio. En el Estudio 1 se presentó el funcionamiento de dos dispositivos experimentales de física a los estudiantes (Torres y Sanjosé 2010 a) en 2 formatos: texto (condición lectura) y observación en el laboratorio (condición observación con manipulación). En el Estudio 2 (Torres y Sanjosé, 2010 b) se presentó el funcionamiento de los mismos dispositivos, pero esta vez en los formatos DVD (condición solo observación) y Laboratorio (condición manipulación). Finalmente, en el Estudio 3 (Duque, 2010) se presentaron dos dispositivos experimentales de química a los estudiantes, únicamente en condiciones de Laboratorio (manipulación). El posible efecto de las diferentes formas de presentación de la información (texto, DVD o laboratorio) sobre la distribución de las preguntas se abordará en otro trabajo que está en desarrollo.

Dado que el conocimiento previo puede tener influencia en el tipo de preguntas formuladas, se consideraron dos niveles educativos diferentes dentro de la educación secundaria en los Estudios 2 y 3.

Metodología

Sujetos.- En el estudio 1, participaron 35 estudiantes de 4ºESO. En el estudio 2 las muestras las constituyeron 55 alumnos de 4º de ESO y 47 de 2º bachillerato, mientras que en el estudio 3 participaron 31 alumnos de 4º ESO y 34 de 2º bachillerato. Todos los estudiantes de las muestras pertenecían a grupos naturales en los centros educativos y estaban cursando Física y Química como materia(s) optativa(s). Se trató de muestras de conveniencia a las que se tuvo acceso tras obtener los permisos pertinentes. Por tanto, la validez externa no está garantizada. A pesar de ello, los centros educativos participantes no poseen ninguna característica particular que los distinga de otros situados en ciudades de cierto tamaño, y los estudiantes no sufrieron selección para ser asignados a los grupos naturales.

Materiales.- En los 3 estudios se utilizaron dos dispositivos experimentales que tienen la cualidad de provocar perplejidad por su comportamiento contrario a lo esperado. Según Dillon (1990) la perplejidad es una de las causas de preguntas.

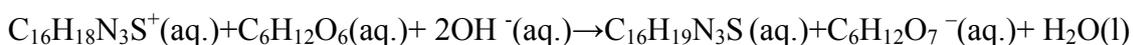
Los dispositivos físicos usados en los estudios 1 y 2 fueron:

1) *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 son divergentes (en forma de “V” con el vértice debajo de la rampa). La razón es que la “panza” central del doble cono va cayendo en el hueco entre las guías a medida que éstas se abren (por su forma de “V”), y esa caída es mayor que lo que asciende por la rampa.

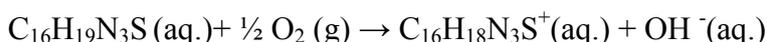
2) *Diablillo Cartesiano*, que se hunde cuando se presiona la botella con agua en la que flota, pero vuelve a la superficie cuando se deja de presionar. Los cambios de volumen que sufre una burbuja de aire en su interior al realizar, o no, sobre-presión con la mano, son los responsables de que se hunda o flote.

En el estudio 3 se utilizaron dos montajes para mostrar fenómenos químicos:

3) *Cambio de color*, por agitación o reposo, de una disolución de azul de metileno en medio básico. Se trata de una botella en donde se mezclan agua, glucosa, hidróxido sódico y unas gotas de azul de metileno. Se tapa la botella y, tras unos segundos, la disolución pasa del azul inicial a incolora. La reacción química correspondiente a la desaparición del color azul por reducción del azul de metileno con glucosa es:

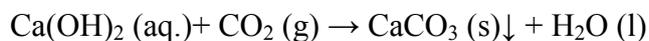


La posterior agitación de la botella conlleva la nueva aparición del color azul por oxidación de la forma reducida del azul de metileno con gas oxígeno (la agitación facilita la disolución del gas oxígeno). La reacción química puede escribirse como:



4) *Formación de una turbidez* (precipitado) y ulterior desaparición de la misma (redisolución del precipitado) al soplar en una disolución incolora de hidróxido de calcio.

Cuando se sopla, mediante una pajita o tubo, en una disolución de hidróxido de calcio aparece una turbidez blanca debida a la formación de un precipitado de carbonato cálcico:



Si se continúa soplando se produce la desaparición de la turbidez blanca como consecuencia de la redisolución del precipitado anterior con la formación de bicarbonato calcio, esto es:



Variables y Medidas.- En todos los casos las variables dependientes fueron las cantidades de preguntas de cada tipo que aparecieron en cada estudio. Las preguntas de los estudiantes se clasificaron según la taxonomía antes explicitada: preguntas tipos T1, T2 y T3. A estos tres tipos de pregunta se pueden añadir las preguntas sobre el procedimiento, T4, que pueden aparecer, sobre todo, en la situación de Laboratorio. Su expresión típica es: “¿Cómo se hace? ¿Puedo manipular esto? ¿Cuál es el orden (en que se realizan los pasos para obtener el fenómeno)?”. Para validar la clasificación de las preguntas formuladas, en cada experimento dos expertos (un investigador y otro experto externo al trabajo) clasificaron un 50% de las preguntas y se calcularon los coeficientes de concordancia *Kappa*. En el experimento 1 *Kappa* tomó el valor 0,87 y en el experimento 2, 0,79. En uno de los experimentos (experimento 3) el coeficiente no alcanzó el valor 0,70 en el primer conjunto de preguntas. Entonces se revisaron los criterios utilizados y tras el acuerdo se clasificó el otro 50% de las preguntas. *Kappa* alcanzó entonces el valor 0,82.

Para la contrastación de la hipótesis 2, en los Estudios 2 y 3 se tomó en consideración el nivel académico de los estudiantes como factor independiente en dos niveles: 4º ESO y 2º Bachillerato.

Además, el objetivo de la tarea fue fijado para todos los estudiantes participantes. De acuerdo con la propuesta de Otero (2009), diferentes metas de procesamiento de la misma información pueden dar lugar a diferentes preguntas, lo cual parece confirmarse empíricamente (Otero, Ishiwa y Sanjosé, 2008).

Procedimiento.- El procedimiento para estimular las preguntas se basó en:

(a)Confidencialidad al formular preguntas. En la administración grupal, cada estudiante formuló sus preguntas por escrito, y en la administración individual (laboratorio) cada alumno formuló sus preguntas oralmente, pero solamente ante el investigador, sin la presencia de otros estudiantes.

(b)Recompensar la formulación de preguntas. En las instrucciones se informó a los estudiantes de que debían comprender bien los dispositivos para explicarlos, en otra sesión, a compañeros que no los conocieran. Después se realizaría una prueba de comprensión. En función del rendimiento en esta prueba se obtendría una bonificación de hasta 0,5 puntos en la calificación de la asignatura.

(c)Estimular la perplejidad. Para ello, el procedimiento seguido ante los dispositivos consistió sistemáticamente en activar primero un esquema explicativo procedente del conocimiento previo y usarlo para explicar un fenómeno bien conocido. Tras ello, se presentaba el evento discrepante, es decir, un fenómeno no esperado a partir de ese mismo esquema mental.

Un aspecto crucial para preservar la validez de los estudios fue obtener únicamente las preguntas destinadas a adquirir información (ISQ's) al intentar comprender los dispositivos, y no todas las preguntas posibles o todas las que se les ocurriera a los estudiantes. Para lograr esto se informó a los estudiantes de que debían tratar de comprender el funcionamiento de los dispositivos y que podían formular todas las preguntas necesarias para ello. En una sesión posterior se entregarían las respuestas a cada estudiante antes de realizar una prueba de comprensión. Al finalizar el experimento, todos los estudiantes fueron informados a la vez de que la segunda sesión no tendría lugar, pero se respondieron las preguntas más frecuentes formuladas por ellos.

En las condiciones de lectura de textos y de observación en DVD la administración fue grupal y las preguntas se recogieron por escrito. El tiempo se distribuyó de la siguiente forma: explicación y lectura de las instrucciones: 15 minutos; lectura de los textos/visionado del DVD (dos visionados) y formulación de las preguntas por escrito: 30 minutos. En el Laboratorio los estudiantes intervinieron individualmente y las preguntas se grabaron en audio. El tiempo empleado por cada estudiante era libre pero típicamente fue 15-20 minutos.

Los dispositivos se presentaron a los estudiantes en orden contrabalanceado en todas las situaciones (textos, DVD o Laboratorio).

Resultados

Distribución de las Preguntas obtenidas

La Tabla 1 muestra el total y promedios por sujeto de las preguntas formuladas por los estudiantes participantes en cada estudio.

		T1	T2	T3	T4	Total
Estudio 1 (N=35)	Número de preguntas/Porcentaje	36/23%	92/59%	20/13%	8/5%	156
	Promedio por sujeto	1,03	2,63	0,57	0,23	4,46
Estudio 2 (N=102)	Número de preguntas/Porcentaje	125/16,5%	398/53%	208/27,5%	25/3%	756
	Promedio por sujeto	1,23	3,90	2,04	0,25	7,41
Estudio 3 (N=65)	Número de preguntas/Porcentaje	265/55%	155/32%	40/8%	22/5%	482
	Promedio por sujeto	4,08	2,38	0,62	0,34	7,42

Tabla 1.- Número de preguntas de cada tipo, porcentaje y promedio por sujeto en cada experimento.

Las desviaciones típicas asociadas con los promedios por sujeto en todos los casos son de valores similares a los valores de dichos promedios. Es decir, hay mucha variabilidad entre las personas que formulan sus preguntas y ello indica que los factores individuales diferenciales son relevantes (conocimiento previo, control de la propia comprensión, motivación, etc.).

Como se aprecia, el 100% de las preguntas pudieron ser clasificadas como T1, T2, T3 ó T4, siendo el porcentaje de preguntas T1, T2 y T3 (preguntas motivadas por obstáculos en la comprensión del fenómeno presentado) muy alto, 95,0%, 96,7% y 95,4% en los experimentos 1, 2 y 3 respectivamente. Las preguntas de tipo T4 (sobre instrucciones o procedimiento) no sobrepasaron el 5% en ningún estudio.

La Tabla 2 muestra las preguntas más frecuentes en los tres estudios para cada nivel educativo.

Estudio 1			
4°ESO	T1	¿Cómo se colocan las guías convergentes?	18%
	T2	¿Por qué sube el doble cono? ¿Por qué se hunde el diablillo cuando aprietas y sube cuando dejas de apretar la botella?	25%
Estudio 2			
4°ESO	T1	¿Cuándo abres el ángulo de las guías, siguen formando un plano inclinado hacia el mismo lado? La abertura de los dos palos ¿tiene un valor concreto?	10%
	T2	¿Cómo es posible que (el doble cono) suba la rampa sin ayuda? ¿Por qué flota/ desciende/ asciende el diablillo?	24%
	T3	¿Si los dos palos estuvieran como antes (<i>paralelos</i>) el doble cono subiría? ¿Qué pasa si el ángulo de convergencia de las guías se hace mayor?	16%
	T1	¿Cuánto puede pesar el pedazo de plastilina (del diablillo)? ¿Para qué sirve el alambre (en el diablillo)? ¿Por qué el diablillo se sumerge y no se queda en la profundidad?	9%
2°BACH	T2	¿Cómo es posible que el doble cono suba?	19%
	T3	¿Qué pasa si esto se hace, en una botella sin tapa? Si no se llena hasta la parte superior, ¿qué le pasa al diablillo? ¿Y si usamos otra sustancia y no agua?	20%
		Si las guías se abren más, ¿también rodaría (hacia arriba) el doble cono?	18%
Estudio 3			
4°ESO	T1	¿Qué sustancias o reactivos son? ¿En cuánta cantidad hay que mezclar el reactivo? Entonces, ¿este resultado viene de estas dos mezclas y el indicador?	27%
	T2	¿Por qué se va el color y luego lo vuelves a mover y vuelve el color? ¿Por qué se hace blanca otra vez? ¿Por qué al moverlo no, pero al soplarlo sí cambia?	25%
	T3	Si se mueve otra vez, ¿se vuelve azul? Y ahora, ¿se volverá transparente otra vez?	8%
2°BACH	T1	Me gustaría saber ¿qué sustancias o compuestos son esos? ¿Ahí ya están mezclados las sustancias y el indicador?	19%
	T2	¿Por qué cuando lo agitamos vuelve a cambiar de color?	12%

Tabla 2.- Preguntas más frecuentes en cada estudio y nivel académico. Los porcentajes se han calculado sobre el total de preguntas por dispositivo.

Influencia del Nivel de Conocimientos

La Tabla 3 muestra los promedios de preguntas para los sujetos de 4° de ESO y 2° de Bachiller en los experimentos 2 y 3, así como la significación de las diferencias entre las medias de ambos cursos (pruebas t-Student).

	Nivel	T1	T2	T3	Total
Estudio 2	4°ESO	1,04	3,60	1,27	5,91
	2°Bach	1,45	4,26	2,94	8,64
	Sig.	,185	,320	,000	,005
Estudio 3	4°ESO	3,29	2,35	0,68	6,48
	2°Bach	4,79	2,41	0,56	8,26
	Sig.	0,018	0,884	0,597	0,035

Tabla 3.- Promedios y diferencias entre niveles de conocimiento para las preguntas de cada tipo.

Los estudiantes con mayor conocimiento formulan más preguntas en promedio que los de menor conocimiento, como se esperaba; los alumnos de 2° de Bachiller detectan más obstáculos de comprensión y más “contradicciones” que los de 4° de ESO. Sin embargo las diferencias no son significativas salvo en el total de preguntas formuladas, en T3 en el estudio 2 y en T1 en el estudio 3.

Los estudiantes de mayor conocimiento previo no solo formulan más preguntas, sino que las formulan de modo diferente, haciendo alusión en ellas a más términos científicos que los de menor conocimiento previo. La Tabla 4 muestra los promedios por sujeto y porcentajes de preguntas dirigidas al Modelo Científico, es decir, de las preguntas que contenían al menos un término científico en su formulación.

	Num (%)	Niveles	Promedios
Estudio 1	35 (22,4%)	Global	1,00
		(4°ESO solo)	
Estudio 2	157 (21,5%)	Global	1,54
		4°ESO	0,96
		2°Bach	2,21
		Sig.	0,001
Estudio 3	220 (45,6%)	Global	3,39
		4°ESO	2,45
		2°Bach	4,24
		Sig.	0,001

Tabla 4.- Cantidades, porcentajes respecto del total de preguntas formuladas y promedios por sujeto de preguntas dirigidas al Modelo Científico. Significación de la prueba t-Student para las diferencias entre niveles.

Como se aprecia en la Tabla 4, los promedios de preguntas conteniendo al menos un término científico en los experimentos 2 y 3, son significativamente diferentes entre ambos niveles educativos. Los términos que con más frecuencia se mencionaron se recogen en la Tabla 5.

	Nivel	Los 10 términos científicos más usados en orden decreciente de frecuencia
Estudio 2	4°ESO	Presión, Flotabilidad-Flotación, Fuerza, Gravedad, Peso, Densidad, Rapidez, Empuje, Volumen, Impulso
	2°Bach	Presión, Fuerza, Peso, Volumen, Velocidad, Flotabilidad-Flotación, Rapidez, Masa, Gravedad, Densidad
Estudio 3	4°ESO	Sustancia, Indicador, Reactivo, Disolución, Indicador de pH, Calcio, Calor, Compuesto, Moléculas, Densidad
	2°Bach	Sustancia, Indicador, Reacción, Compuesto, Reactivo, Sólido, Concentración, Papel filtro, Calor, Disolución

Tabla 5.-Términos científicos utilizados con mayor frecuencia en las preguntas de los alumnos de 4° ESO y 2° Bachillerato.

Discusión y Conclusiones

En primer lugar, los estudiantes de Secundaria de las muestras realizaron un número de preguntas considerable (entre 4,5 y 7,5 preguntas por estudiante en 10-20 minutos aproximadamente) ante los dispositivos experimentales en las situaciones particulares en que estos se presentaron, a diferencia del promedio de 1 pregunta por estudiante cada 6-7 horas de clase en situaciones ordinarias de aula, reportado por Graesser y Person, (1994) y concordante con estudios previos (Dillon, 1988; Good et al., 1987). Ello replica otros hallazgos anteriores: cuando la situación lo favorece los estudiantes son capaces de realizar muchas preguntas destinadas a obtener información (Roca, 2009; Costa et al., 2000; Graesser y Person, 1994).

En nuestros tres estudios, procuramos estimular la generación de preguntas mediante el uso de varias estrategias. Una de ellas fue la creación de un estado de perplejidad en los estudiantes, que se ha mostrado eficiente tal como afirmó Dillon (1990). Nuestros dispositivos experimentales presentaron siempre eventos inesperados para los estudiantes, o contrarios a su intuición. Otra estrategia fue elegir situaciones particulares en las que se evitara la posibilidad de ser escuchado ni enjuiciado por otros compañeros/as. Ello evitó la inhibición psicosocial de la formulación de preguntas. Por último, la formulación de preguntas, y no su respuesta, fue presentada como algo útil y luego, premiada en forma de una bonificación en la calificación de la asignatura (de acuerdo con los/las respectivos/as profesores/as).

Nuestro segundo objetivo era probar una determinada taxonomía para las preguntas, basada en su origen como inferencias fallidas. En las variadas condiciones experimentales de nuestros 3 estudios, se logró clasificar la gran cantidad de preguntas formuladas según la taxonomía que se deriva de la clasificación de inferencias propuesta por Trabasso y Magliano (1996). El sistema de clasificación de preguntas obtuvo un buen nivel de fiabilidad, ya que los coeficientes Kappa de Cohen se situaron entre 0,79 y 0,87 en los tres estudios. El porcentaje de preguntas que no estuvieron destinadas propiamente a

obtener información sobre los fenómenos implicados en los dispositivos experimentales se refirieron a las instrucciones o al procedimiento que los estudiantes debían seguir en las pruebas, y siempre supusieron menos del 5% de todas las preguntas. Los resultados obtenidos se replicaron en los 3 estudios realizados y ello apoya la hipótesis H1. También Ishiwa, Macías, Maturano, y Otero (2010) lograron clasificar del mismo modo las preguntas que los estudiantes formularon ante fenómenos físicos en condiciones de lectura de textos y estudio de dibujos esquemáticos. La taxonomía utilizada recibe así validación externa.

En tercer lugar, el análisis posterior de las diferencias en el número y tipo de preguntas formuladas por estudiantes de Secundaria de diferente nivel académico muestra los resultados previsibles: los estudiantes de 2º de bachillerato realizaron más preguntas que los de 4º de ESO y, lo que es más importante, formularon significativamente más preguntas dirigidas a la construcción de un modelo científico de los fenómenos implicados en los dispositivos experimentales físicos o químicos. Los resultados se replican en los dos estudios en los que intervinieron estudiantes de estos dos niveles académicos. Que un mayor conocimiento previo dé lugar a más preguntas está de acuerdo con la teoría sobre generación de preguntas de Flammer (1981) y los resultados obtenidos por Miyake y Norman (1979) y, desde luego, con la constatación de muchos profesores en sus aulas. La hipótesis H2 queda también apoyada en los límites de nuestro trabajo: el nivel de conocimiento científico es importante a la hora de intentar construir un modelo científico de los eventos presentados.

Como análisis adicional, las diferencias en la distribución de las preguntas formuladas ante los dispositivos de física y los de química fueron inesperadas y serán analizadas en un trabajo posterior. También hubo algunas diferencias en el vocabulario científico que los estudiantes de 4º ESO y de 2º Bachillerato utilizaron en cada estudio. En el estudio 2 fue muy limitado, con pocas diferencias entre ambos niveles educativos. No fueron utilizados con la frecuencia esperada términos como energía (aumento o disminución, cinética, potencial), centro de gravedad o el principio de Arquímedes, que acuden a la mente de un experto. En el estudio 3, los sujetos sí usaron el vocabulario específico esperado para referirse a los objetos y eventos implicados (sustancias, reactivos, indicador de PH, concentración). Es posible que los fenómenos no habituales en la vida

diaria, como son los del estudio 3, activen necesariamente una representación Modelo Científico de la información, a diferencia de los fenómenos mecánicos del estudio 2, que forman parte de la experiencia cotidiana (sólidos, líquidos, ascenso, descenso, rotación, flotación, etc.) y activan de inmediato esquemas explicativos en términos no abstractos (Modelo de la Situación).

Las consecuencias que pueden derivarse, con la prudencia que exigen las limitaciones de este trabajo, son las siguientes:

Si se desea acercar el aprendizaje al trabajo que realizan los científicos, convendría prestar atención y estimular la generación de preguntas destinadas a lograr información necesaria para comprender la ciencia. Las estrategias usadas por nosotros se han mostrado efectivas para ello.

Parece que la mayoría de los obstáculos de comprensión que suscitan preguntas en los estudiantes proceden de inferencias intentadas y no logradas. Estas inferencias se realizan para intentar conocer mejor las entidades (objetos y eventos), justificarlas (causalmente) o anticiparlas. Ello se corresponde también con competencias científicas que los profesores desean desarrollar en sus estudiantes: describir la materia y fenómenos, encontrar causas cada vez más generales, que pueden llegar a ser leyes, y predecir sucesos a partir de esa causalidad (de leyes). Si se disponen las condiciones adecuadas, los dispositivos experimentales son capaces de suscitar un importante trabajo cognitivo (las inferencias) y metacognitivo (control de la comprensión) en los estudiantes de Secundaria. Uno de los resultados de ese trabajo son las preguntas formuladas por los propios estudiantes, que podrían utilizarse como inicio de un aprendizaje por investigación bien motivado.

El modo en que cada alumno formula sus preguntas es un buen indicador de qué tipo de esquemas conceptuales activa en su memoria y cuál es su contenido. Es labor de los profesores ayudar a los estudiantes a realizar la transición desde una representación Modelo de la Situación (Kintsch, 1998), basada en objetos y hechos en términos del mundo ordinario, a una representación Modelo Científico (Greeno, 1989; Gangoso, 2004), basada en modelos sobre la materia y en fenómenos utilizando términos abstractos como conceptos, leyes y principios científicos. Hemos encontrado que, cuanto más cercanos a la

experiencia cotidiana son los fenómenos, más fácilmente se activan esquemas explicativos no científicos. Los fenómenos cotidianos, contrariamente a lo que se piensa, podrían añadir dificultades para alcanzar las metas de aprendizaje en ciencias.

Referencias bibliográficas

- Alexander, P.A., Jetton, T.L., Kulikowich, J.M. and Woehler, C.A. (1994). Contrasting instructional and structural importance: the seductive effect of teacher questions. *Journal of Reading Behaviour*, 26 (1), 19-42.
- Baker, L. (1979). Comprehension monitoring: Identifying and coping with text confusions. *Journal of Reading Behavior*, 11, 363-374.
- Baker, L. (1985). How do we know when we don't understand? Standards for evaluating text comprehension. In D.L. Forrest-Pressley, G.E. Mackinnon, & T.G. Waller (Eds.), *Metacognition, cognition and human performance* (pp. 155-205). New York: Academic Press.
- Bellack, A.A, Kliebard, H.M., Hyman, R.T. and Smith, F.L. (1966). *The Language of the Classroom*. New York: Teachers College Press.
- Berlyne, D.E., Frommer, F.D. (1966). Some determinants of the incidence and content of children's questions. *Child Development*, 38, 177-187.
- Campanario, J.M., García-Arista, E., Otero, J., Patricio, A., Costa, E., Prata Pina, E.M., Caldeira, M.H., & Thomaz, M.F. (1994). En qué medida o controlo da compreensao ajuda a melhorar o rendimento académico? 4º *Encontro Ibérico para o Ensino da Física*. Covilha, Portugal, 19-23 September.
- Campanario, J.M. y Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18, 155-169.

- Chin, C., Brown, D.E. and Bruce, B.C. (2002). Student-generated question: A meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24 (5), 521-549.
- Ciardiello, A. V. (1998). Did you ask a good question today? Alternative cognitive and metacognitive strategies. *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, 42, 210–219.
- Costa, J., Caldeira, M.H., Gallástegui, & Otero, J. (2000) An analysis of question asking on scientific texts explaining natural phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 602-614.
- Craig, S. D., Gholson, B., Ventura, M., Graesser, A. C., & the Tutoring Research Group. (2000). Overhearing dialogues and monologues in virtual tutoring sessions: Effects on questioning and vicarious learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11, 242–253.
- Davey, B., & McBride, S. (1986). Effects of question generation on reading comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 78, 256–262.
- Dillon, J.T. (1988). The remedial status of student questioning. *Journal of Curriculum Studies*, 20, 197-210.
- Dillon, J.T. (1990). *The practice of questioning*. New York: Routledge.
- Duque, K.J. (2010). *Las preguntas de los estudiantes ante dispositivos experimentales*. Trabajo fin de Máster. Master Universitario en Investigación en Didácticas Específicas, Universitat de València.
- Durkin, D. (1978-1979). What classroom observation reveal about reading comprehension instruction. *Reading Research Quarterly*, 14, 481-533.
- Flammer, A. (1981). Towards a theory of question asking. *Psychological Research*, 43, 407–420.
- Gangoso, Z. (2004). Un modelo para el proceso de resolución de Problemas en Física. Actas II Jornadas de Investigación en Resolución de Problemas en Física. Córdoba (Argentina).

- Gavelek, J.R. & Raphael, T.E. (1985). Metacognition, instruction, and the role of questioning activities. In D.L. Forrest-Pressley, G.E. Mackinnon, & T.G. Waller (Eds.), *Metacognition, cognition and human performance* (Vol 2, pp. 103-136). Orlando, Fl.: Academic Press.
- Glenberg, A.M., & Epstein, W. (1985). Calibration of comprehension. *Journal of Experimental Psychology*, 11, 702-718.
- Good, T. L., Slavings, R. L., Harel, K. H., & Emerson, M. (1987). Students' passivity: A study of question asking in K-12 classrooms. *Sociology of Education*, 60, 181-199.
- Graesser, A. C., & Person, N. K. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal*, 31, 104-137.
- Graesser, A.C., McMahan, C.L., Johnson, B.K. (1994). Question Asking and Answering. In M. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of Psycholinguistics* (pp. 517-538). New York: Academic Press.
- Grasser, A.C., Olde, B. (2003). How Does One Know Whether A Person Understands a Device? The Quality of the Questions the Person Asks When the Device Breaks Down. *Journal of Educational Psychology*, 95, 524-536.
- Graesser, A., Singer, M. and Trabasso, T. (1994) 'Constructing inferences during text comprehension', *Psychological Review*, 101 (3), pp. 371-395.
- Graesser, A. C., & Zwaan, R. A. (1995). Inference generation and the construction of situation models. In C. A. Weaver, S. Mannes, & C. R. Fletcher (Eds.), *Discourse comprehension: Strategies and processing revisited. Essays in honor of Walter Kintsch* (pp. 117-139). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Greeno, J.G. (1989). Situations, Mental Models, and Generative Knowledge, in D. Klahr and K. Kotovsky (eds.), *Complex Information Processing: The Impact of Herbert Simon*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ (pp. 285-318).
- Ishiwa, K., Macías, A., Maturano, C. y Otero, J. (2010). Generation of information-seeking questions when reading science texts for understanding. Manuscrito pendiente de revisión.

- Kerry, T. (1987). Classroom questions in England. *Questioning Exchange*, 1, 32-33.
- King, A. (1989). Effects of self-questioning training on college students' comprehension of lectures. *Contemporary Educational Psychology*, 14, 366-381.
- King, A. (1992). Comparison of self-questioning, summarizing, and notetaking review as strategies for learning from lectures. *American Educational Research Journal*, 29, 303-323.
- King, A. (1994). Guiding knowledge construction in the classroom: Effects of teaching children how to question and how to explain. *American Educational Research Journal*, 31, 338-368.
- Kintsch W. y van Dijk, T. A. (1978). Towards a Model of Text Comprehension and Production. *Psychological Review*, 85, 363-394.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. Cambridge University Press, Cambridge UK.
- LaFrance, M. (1992). Questioning Knowledge Acquisition. In T. Lauer, E. Peacock, & A.C. Graesser (Eds.), *Questions and Information Systems* (pp. 11-28). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- León, J. A. y Pérez, O. (2003). Taxonomías y tipos de inferencias. In J.A. León (Ed.), *Conocimiento y discurso. Claves para inferir y comprender* (pp. 45-65). Madrid: Pirámide.
- Macías, A. y Maturano, C. (2005). Las representaciones mentales de los estudiantes a partir de un texto y de una ilustración referidas a un mismo fenómeno físico. VII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Granada (Spain).
- Markman, E.M. (1979). Realizing that you don't understand: Elementary school children's awareness of inconsistencies. *Child Development*, 50, 643-655.
- Maturano, C. y Macías, A. (2004). Las preguntas formuladas por los alumnos muestran la falta de comprensión cuando leen textos de física. VII Simposio de Investigadores en Educación en Física, La Pampa (Argentina).

- McKoon, G. and Ratcliff, R. (1992) 'Inference during reading', *Psychological Review*, 99 (3), pp. 440-466
- 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, 357–364.
- Otero, J. (1996). Components of comprehension monitoring in the acquisition of knowledge from science texts. In K.M. Fisher & M.R. Kibby (Eds.), *Knowledge Acquisition Organization and Use in Biology* (pp. 36-43). Berlin: NATO-Springer Verlag.
- 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.
- Otero, J., & Campanario, J.M. (1990). Comprehension evaluation and regulation in learning from science texts. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 447-460.
- Otero, J., Campanario, J. M., & Hopkins, K. (1992). The relationship between academic achievement and metacognitive comprehension monitoring ability of Spanish secondary school students. *Educational and Psychological Measurement*, 52, 419-430.
- Otero, J., & Graesser, A. C. (2001). PREG: Elements of a model of question asking. *Cognition and Instruction*, 19, 143–175.
- Otero, J., Ishiwa, K. y Sanjosé, V. (2008). *Reader's Questioning: Some Hints for Automated Question Generation*. Workshop on the Question Generation Shared Task and Evaluation Challenge. September 25-26, NSF, Arlington, VA.
- Palincsar, A. S., & Brown, A. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction*, 1, 117–175.
- Ram, A. (1991). A Theory of Questions and Question Asking. *The Journal of the Learning Sciences*, 1, 273-318.

- Raphael, T.E. and Wonnacott, C.A. (1985). Heightening fourth grade students' sensitivity to sources of information for answering comprehension questions. *Reading Research Quarterly*, 20, 282-296.
- Roca, M. (2009). Las preguntas de los alumnos, análisis de su aportación al aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 328-333.
<http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-328-333.pdf>
- Rosenshine, B., Meister, C., & Chapman, S. (1996). Teaching students to generate questions: A review of the intervention studies. *Review of Educational Research*, 66, 181–221.
- Sanjosé, V. (2010). Las preguntas de los estudiantes en las clases de ciencias. En C. Caballero, M.A. Moreira y J. Meneses (coordinadores), III Encuentro internacional sobre investigación en enseñanza de las ciencias, (pp 31-61). Burgos: Servicio de publicaciones de la Universidad de Burgos.
- Sanjosé, V.; Fernández-Rivera, J.J. y Vidal-Abarca, E. (2010). Importancia de las destrezas de procesamiento de la información en la comprensión de textos científicos. *Infancia y Aprendizaje*, 33 (4), 529-541.
- Singer, H., & Donlan, D. (1982). Active comprehension: Problem-solving schema with question generation for comprehension of complex stories. *Reading Research Quarterly*, 17, 166–186.
- Torres, T. y Sanjosé, V (2010 a). *Preguntas de los estudiantes ante dispositivos científicos*. Proceedings of the II Congrés Internacional de Didàctiques, pp 169, Girona (España).
<http://www.udg.edu/LinkClick.aspx?fileticket=m91%2bH%2fhkBW0%3d&tabid=12826&language=ca-ES>
- Torres, T. y Sanjosé, V (2010 b). *Las preguntas de los estudiantes en condiciones de lectura, observación y manipulación de dispositivos científicos*. Proceedings of the XXIV Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales, pp 543- 549, Baeza (España).
- Trabasso, T. & Magliano, J.P. (1996). Conscious Understanding During Comprehension. *Discourse Processes*, 21, 255-287.

- UNESCO (1980). *UNESCO Handbook for Science Teachers* (Paris, UNESCO/London: Heinemann).
- Van der Meij, H. (1990). Question Asking: To Know That You Do Not Know Is Not Enough. *Journal of Educational Psychology*, 82, 505-512.
- Van der Meij, H. (1994). Student Questioning: A Componential Analysis. *Learning and Individual Differences*, 6, 137-16.
- Van Dijk, T. A., y Kintsch, W. (1983). *Strategies of Discourse Comprehension*. New York: Academic Press.
- Zabucky, K., & Ratner, H.H. (1986). Children's comprehension monitoring and recall of inconsistent stories. *Child Development*, 57, 1401-1418.
- Zabucky, K., & Ratner, H.H. (1989). Effects of reading ability on children's comprehension evaluation and regulation. *Journal of Reading Behavior*, 21, 69-83.
- Zabucky, K., & Ratner, H.H. (1992). Effects of passage type on comprehension monitoring and recall in good and poor readers. *Journal of Reading Behavior*, 24, 373-391.

CAPÍTULO 6

Una Validación Empírica del Modelo Obstáculo-Meta en la Comprensión de Dispositivos Experimentales de Ciencias

Referencia:

Torres, T. y Sanjosé, V. (2014). Generación de preguntas sobre información no textual: una validación empírica del modelo Obstáculo-Meta en la comprensión de dispositivos experimentales de ciencias. Aceptado para su publicación en la revista *Universitas Psychologica*, 13(1).

Generación de preguntas sobre información no textual: Una validación empírica del modelo Obstáculo-Meta en la comprensión de dispositivos experimentales de ciencias

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 sólo con información textual. En el presente trabajo se presenta un estudio empírico, desarrollado en dos fases, de validación más fiable de esta predicción 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: Generación de preguntas, Modelo Obstáculo-Meta, Dispositivos experimentales.

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 the 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: Question generation, Obstacle-Goal model, Experimental devices.

1.-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 y Narens, 1990; Otero y 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 y 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; 2) las preguntas se generan debido al conocimiento previo del sujeto que crea expectativas y demandas (Miyake y Norman, 1979).

Recientemente, Otero (2009) ha propuesto un modelo sencillo que integra estas dos posturas principales, aparentemente contrarias. Según Otero, 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, y una meta, consistente en la representación mental final que el sujeto se propone elaborar (consciente o inconscientemente), 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 y 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 (Ishiwa, Sanjosé y Otero, 2007).

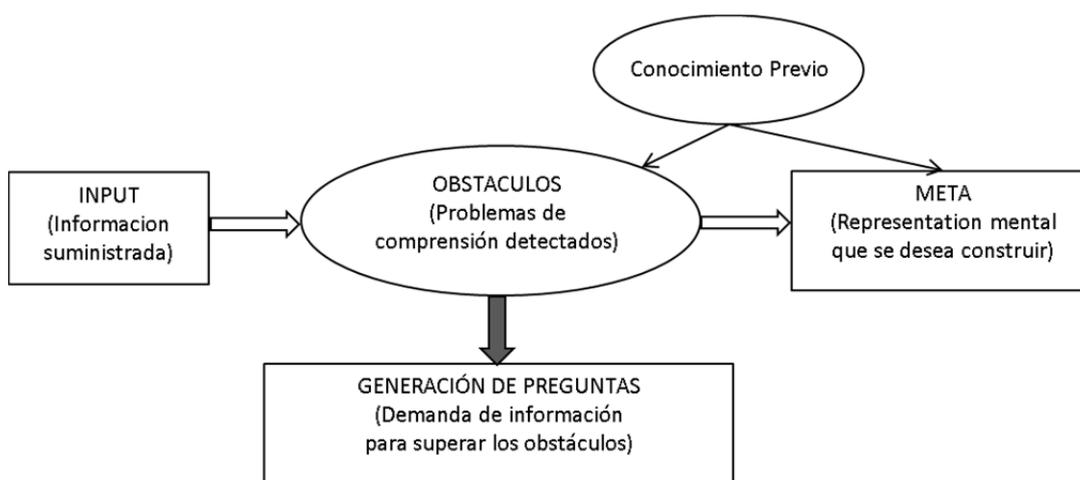


Figura 1. Representación esquemática del modelo Obstáculo-Meta de generación de preguntas de comprensión.

Naturalmente, la detección de un obstáculo de comprensión es sólo una de las tres etapas necesarias para la generación de una pregunta. Además, el sujeto ha de decidir construir una frase que de forma a su necesidad de información y editarla socialmente (Graesser y McMahan, 1993).

A partir 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, 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 intentadas) deben suponer diferentes ‘trayectorias cognitivas por el espacio del problema’ y, por tanto, diferentes obstáculos detectados y diferentes preguntas formuladas. Esta predicción ha sido contrastada por Ishiwa, Sanjosé y Otero (2012) recientemente para información textual. Estos autores utilizaron textos con dificultades introducidas adrede, como pseudo-palabras (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 en dos condiciones experimentales distintas: a) con el fin de explicar el contenido; b) con el fin de resolver un sencillo problema aritmético. 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, Duque, Ishiwa et al, 2012), derivada de la clasificación de inferencias propuesta por Trabasso y Magliano (1996).

Sin embargo, la validación de Ishiwa y colaboradores (opus cit) 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: obstáculos y metas. En el trabajo citado las diferencias en las representaciones mentales intentadas por los sujetos no fueron medidas directamente. En lugar de ello, se asumió por hipótesis de trabajo que proponer diferentes tareas a los estudiantes (las diferentes condiciones experimentales) induciría diferencias en las representaciones mentales. Otro contexto en el que el modelo Obstáculo-Meta debería ser contrastado, es el de información no-textual, por ejemplo información procedente directamente de la realidad tangible.

Precisamente el objetivo 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 y Soto, 2012). Las principales diferencias entre la situación de aprendizaje en el laboratorio y la lectura de textos proceden de 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. Ello libera recursos de la memoria de trabajo que pueden ser utilizados en otros procesos cognitivos (Chandler y Sweller, 1991; Höffler y 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 y Sanjosé, 2012).

En resumen, nuestra hipótesis es la siguiente:

Estudiantes que presenten diferencias en las representaciones mentales elaboradas para comprender los dispositivos experimentales, mostrarán también diferente distribución en sus preguntas de comprensión sobre dispositivos experimentales en situación de laboratorio.

El contraste de esta hipótesis se realizó en dos fases complementarias. En la primera fase se realizó 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 nuestra hipótesis. Es decir, nuestro procedimiento metodológico introdujo una mejora respecto de los experimentos de validación anteriores (Ishiwa, Sanjosé y Otero, opus cit.) 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.

Como en estudios precedentes, consideramos dos condiciones experimentales asociadas a la comprensión de los dispositivos: a) explicar el funcionamiento de los dispositivos; b) diseñar los dispositivos posteriormente. Esta primera fase del estudio permitió también revisar la hipótesis de trabajo utilizada en estudios anteriores, consistente en suponer que cada una de las condiciones experimentales estimularía diferentes representaciones mentales en los sujetos.

Una vez obtenidas las evidencias pretendidas sobre la relación entre condiciones experimentales y representaciones mentales intentadas, se hizo necesario aumentar la validez estadística de la relación obstáculo-meta para información no textual. Se consideraron las mismas dos condiciones experimentales de la primera fase. El objetivo fue disponer de suficiente cantidad de preguntas y sujetos como para contrastar una hipótesis de diferencias entre condiciones experimentales con cierta validez estadística.

2.-Método

2.1.-Participantes

En la primera fase de esta investigación, y debido a su carácter básicamente cualitativo (entrevista individual en profundidad), participaron 12 estudiantes universitarios, colombianos de ambos sexos y mayores de edad (19-22 años típicamente). 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 4 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.

2.2.-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., opus cit.). 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 (Websites, 2012).

2.3.-Variables y Medidas

La condición experimental se consideró un factor independiente. Se contempló la posibilidad de que el conocimiento previo en física de los estudiantes de 3er semestre de física fuera menor que el de los estudiantes de 5º 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:

a) La cantidad de preguntas de cada tipo formuladas por los estudiantes en cada condición experimental. Los tipos de preguntas consideradas fueron los mismos de estudios anteriores (Ishiwa, Sanjosé y Otero, opus cit.; Torres et al., opus cit):

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?*

a.4) Procedimentales (Q4), dirigidas a clarificar el modo de actuar, las instrucciones, etc. Por ejemplo: *¿Puedo tocar los dispositivos? ¿He de escribir todas las preguntas que se me ocurren?*

Esta taxonomía está basada en la idea de que la mayoría de los obstáculos de comprensión están causados por inferencias fallidas que los sujetos intentan realizar.

b) Cantidad y porcentaje de ideas de diversa tipología que son indicadores de las representaciones mentales intentadas por los participantes en cada condición experimental. En coherencia con la taxonomía de preguntas adoptada, se diferenciaron 3 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 sólo por completitud, se atendió a la cantidad de ideas conteniendo información científica (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.

2.4.-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. Los sujetos fueron llevados uno a uno a un laboratorio en donde se habían montado los dispositivos. Cada estudiante fue asignado a una condición experimental distinta: comprender, a) para explicar, o b) para diseñar los dispositivos. Una vez en el laboratorio, se entregó una hoja con las instrucciones detalladas que se leyeron en voz alta por uno de los investigadores, y una hoja en blanco para escribir las preguntas. 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. 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. Tras ese tiempo de descanso, se entregó al sujeto la hoja con sus preguntas, y se le pidió que explicara la razón por la cual había formulado cada una de las preguntas 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; 3) dar la oportunidad de generar nuevas preguntas y darles respuesta. Antes de contestar las preguntas formuladas, se le invitó al/a la estudiante a manipular con toda libertad los dispositivos para tratar de contestarlas por sí mismo/a.

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 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.

3.-Resultados y discusión

3.1.-Estudio cualitativo

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).

Ideas unidad, indicadores de representación mental pretendida	Tipo de preguntas y de ideas
<p>Extractos de Entrevistas (<i>I: Investigador; E: Estudiante</i>)</p> <p>I: Usted preguntaba <i>¿cuales son las características físicas de los objetos que ruedan sobre el plano?</i> Cuándo se refiere a las características físicas, ¿se refería usted a la geometría, o a qué exactamente?</p> <p>E: Sí, la masa de cada objeto, la densidad, la forma, la característica geométrica.</p> <p>I: ¿Necesita Vd conocer alguna otra característica?</p> <p>E: Pues ...¿qué ángulo tienen los conos?</p> <p>I: ¿Vd tiene alguna pregunta sobre el funcionamiento del doble cono?</p> <p>E: (...) Pues la cosa es que cuando se colocan convergentes (<i>las guías</i>), el doble cono en realidad baja su centro de masa (...)</p> <p>I: Vd ha preguntado: “<i>¿Qué sucede cuando se varia el ángulo del doble cono?, ¿Eso cambia la velocidad del ascenso?</i>” ¿Usted por qué hace estas preguntas?</p>	<p>En <i>cursiva</i>, preguntas realizadas antes de las entrevistas.</p> <p><i>Pregunta asociativa, Q1</i></p> <p>Descriptiva</p> <p>Descrip-Parámetros (Pregunta Q1)</p> <p>Explicativa (aplica una ley física)</p> <p><i>Pregunta predictiva, Q3</i></p>

<p>E: Yo quiero saber si es una mayor inclinación (<i>mayor ángulo en cada cono</i>), lo va a hacer subir con más velocidad.</p>	<p>Predictiva, hipotético-deductiva</p>
<p>I: Ahora otra de sus preguntas es: <i>¿Como cambia el movimiento si el objeto es hueco o macizo?</i> <i>¿Qué dice Vd al respecto ahora?</i> E: (...) Si fuera algo hueco no tendría inercia.</p>	<p><i>Pregunta Q3</i> Predictiva, hipotético-deductiva</p>
<p>I: Usted preguntaba, <i>“¿sucede alguna cosa con el agua, o el agua tiene alguna clase de gas?”</i> <i>¿Cuál es la razón por la cual pregunta esto?</i> E: (...) Para que la tapita flote, necesita algo que le ayude a flotar (<i>por tanto</i>) guarda aire en el momento que entró en el agua.</p>	<p><i>Pregunta asociativa, Q1</i> Explicativa, causal</p>
<p>I: Otra de sus preguntas es <i>“¿la botella debe de estar necesariamente tapada?”</i>. Quizás podría intentar contestar a esto Vd mismo... (<i>El estudiante manipula el diablillo cartesiano</i>) E: (...) Cuando aprieto la botella (<i>tapada</i>), además de la presión atmosférica está también una sobre-presión. I: (...) Entonces, el efecto de apretar, <i>¿cuál es?</i> E: (...) Cuando la aprieto (<i>la botella</i>), 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><i>Pregunta equivale a “¿qué pasaría si no lo estuviera?”, Q3</i> Descriptiva 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>Descriptiva Descrip-parámetros Descrip-parámetros Descriptiva Descrip-parámetros Descrip-parámetros</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: $E_p = mgh$, sólo 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>Explicativa, causal Explicativa, causal Descriptiva Descriptiva Explicativa Explicativa, causal Descriptiva Descriptiva Explicativa, causal</p>

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.

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 primeros expresaron menor número de ideas descriptivas que los segundos, en particular, asociadas con parámetros característicos de los dispositivos, pero a cambio expresaron muchas más ideas explicativas.

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

Tabla 2.-Relación entre preguntas formuladas e ideas manifestadas por los estudiantes durante el proceso de construcción de representaciones mentales.

Si se atiende a las proporciones de cada tipo de pregunta respecto del total formulado, se puede valorar mejor el tipo de obstáculos que, preferentemente, encuentran los sujetos durante su interacción con los dispositivos. Así mismo, también la proporción de ideas de cada tipo respecto del total de ideas manifestadas son variables más apropiadas para visualizar el tipo de representación mental que los estudiantes intentaron elaborar. Todas esas proporciones siguieron distribuciones no significativamente distintas de las normales (Kolmogorv-Smirnov: $p > .78$ en todos los casos).

Las correlaciones de Pearson entre las proporciones de ideas descriptivas y explicativas no sólo fueron negativas (lo que es esperable tratándose de proporciones que han de sumar la unidad), sino de un valor absoluto alto ($r(12) = -.724$; $p = .008$) a pesar del pequeño tamaño de la muestra. Este valor alto indica que los participantes generaron preferentemente bien ideas descriptivas, centradas en el diseño funcional de los dispositivos, bien ideas causales para explicar su funcionamiento en términos de leyes científicas o de conocimiento ordinario del mundo, pero muy pocos generaron proporciones apreciables de ambos tipos de ideas a la vez.

De forma parecida, las preguntas formuladas fueron, bien de tipo descriptivo (Q1), bien de tipo causal antecedente (explicativas, Q2) o consecuente (la mayoría de las predictivas, Q3). Las correlaciones entre sus proporciones también alcanzaron valores absolutos altos ($r_{Q1,Q2}(12) = -.849$; $p < .001$; $r_{Q1,Q3}(12) = -.659$; $p = .020$). Sin embargo, la correlación entre las proporciones de Q1 y Q2 fue positiva pero no importante ($r_{Q2,Q3}(12) = .161$; $p = .616$) ya que algunos sujetos formularon proporciones similares de preguntas explicativas y predictivas.

En resumen, se puede afirmar que los sujetos encontraron preferentemente 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 por qué los dispositivos funcionan tal como lo hacen. Al mismo tiempo, los sujetos participantes expresaron bien ideas descriptivas durante el proceso de comprensión, bien ideas causales. Ahora bien, es necesario estudiar qué tipo de preguntas está relacionado con qué tipo de ideas expresadas para contrastar la hipótesis formulada en este trabajo.

A pesar de la pequeña muestra y de la evidente falta de potencia estadística, se realizó un análisis de correlación para intentar asociar las proporciones de preguntas con las de ideas. La Tabla 3 recoge los valores de la correlación de Pearson.

Correlación de Pearson (N=12)	Prop.Q1	Prop.Q2	Prop.Q3
Prop.Ideas Descriptivas	r= .612 ; p= .034	r= -.419; p= .176	r= -.546; p= .066
Incluyendo Parámetros Prop.Ideas Explicativas	r= .547, p= .066 r= -.707; p= .010	r= -.530, p= .077 r= .543 ; p= .068	r= -.267, p= .402 r= .546 ; p= .066

Tabla 3.- Correlaciones de Pearson entre proporciones de tipos de preguntas generadas y tipos de ideas expresadas por los participantes.

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. Podemos atender, por tanto, a su signo y a su valor absoluto en relación con los valores que son característicos en las investigaciones psico-educativas. 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 punto 3.2. estudio cuantitativo).

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 ANOVA's. Las cantidades de ideas y de preguntas de cada tipo mostraron distribuciones normales (K-S; $p > .35$ 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 ($F(2,20) = 27.625$; $p < .001$; $\eta^2 = .73$; $P = 1.0$) y la potencia estadística fue máxima a pesar del pequeño tamaño de la muestra. En lo que a las ideas concierne, sendos ANOVA's simples para cada tipo de idea indicó que hubo significativamente más ideas causales en la condición explicar ($F(1,10) = 31.107$; $p < .001$; $\eta^2 = .76$; $P = 1.0$) y significativamente más ideas descriptivas en la condición diseñar ($F(1,10) = 11.798$; $p = .006$; $\eta^2 = .54$; $P = .87$), 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 ($t(10) = 1.367$; $p = .20$). 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.

3.2.-Estudio cuantitativo

De acuerdo con los resultados obtenidos en la primera fase de esta investigación, en esta segunda fase se asumió que cada condición experimental induciría diferentes representaciones mentales en los participantes. Los 39 participantes 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 (*kappa* de Cohen = 0.89).

Cond. Exp.	Q1	Q2	Q3	Qtot
Explicar	2.2 (1.9)	5.1 (2.2)	3.0 (3.0)	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 (3.0)	10.5 (4.0)

Tabla 4.- Fase 2. Distribución de las preguntas de los estudiantes en cada condición experimental. Se muestran las medias y las desviaciones típicas (entre paréntesis).

A excepción de Q4, el resto de variables se distribuyeron de acuerdo con una distribución no significativamente distinta de una normal (K-S: $p > .18$ en todos los casos). El número de preguntas sobre procedimiento, Q4, fue muy pequeño con un promedio de apenas 0.2 preguntas por sujeto. Para analizar la distribución de preguntas en tipos Q1, Q2 y Q3, se utilizó un ANOVA de medidas repetidas 3X2, 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 ($F(2,74) = 5.924$; $p = .004$; $\eta^2 = .14$; $P = .87$). Sendos ANOVAs simples mostraron que la condición explicar produjo significativamente más preguntas causales, Q2 ($F(1,37) = 9.991$; $p = .003$; $\eta^2 = .21$; $P = .87$) y la condición diseñar estimuló significativamente más preguntas asociativas, Q1, ($F(1,37) = 5.931$; $p = .02$; $\eta^2 = .14$; $P = .66$), 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 ($F < 1$).

4.-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 nos hemos 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, impuestas externamente 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 indirectamente los estudios anteriores de validación del modelo (Ishiwa, Sanjosé y Otero, opus cit) 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.

5.-Referencias bibliográficas

- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Chin, C. y Osborne, J. (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1-39.
- Flammer, A. (1981). Towards a theory of question asking. *Psychological Research*, 43, 407-420.
- Watts, M., Gould, G., y Alsop, S. (1997). Questions of understanding: categorising pupils, questions in science. *School Science Review*, 79 (286), 57-63.

- Höffler, T.N., y Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction, 17*, 722-738.
- Graesser, A.C., y McMahan, C.L. (1993). Anomalous information triggers questions when adults solve problems and comprehend stories. *Journal of Educational Psychology, 85*, 136-151.
- Van Dijk, T., y Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- Otero, J. (2009). Question generation and anomaly detection in texts. In D. Hacker, J. Dunlosky, y A. Graesser (Eds.), *Handbook of Metacognition in Education* (pp. 47-59). New York: Routledge.
- Dillon, J.T. (1988). *Questioning and teaching: a manual of practice*. London: Croom Helm.
- Newell, A. y Simon, H.A. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: a paradigm for cognition*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kintsch, W. y van Dijk, T.A. (1978). Toward a model of discourse comprehension and production. *Psychological Review, 85*, 363-394.
- Ishiwa, K., Sanjosé, V., y Otero, J. (2012). Questioning and reading goals: Information-seeking questions asked on scientific texts read under different task conditions. Accepted for publication in the *British Journal of Educational Psychology*.
- Otero, J., y Graesser, A.C. (2001). PREG: Elements of a model of question asking. *Cognition and Instruction, 19*, 143-175.
- Miyake, N., y 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*, 357-364.
- Trabasso, T., y Magliano, J.P. (1996). Conscious Understanding during Comprehension. *Discourse Processes, 21*, 255-287. doi:10.1080/01638539609544959.

- Torres, T., Duque, J.K., Ishiwa, K., Sánchez, G., Solaz-Portolés, J.J., & Sanjose, 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. y Sanjosé, V. (2012). Generating students' information seeking questions in the scholar lab: what benefits can we expect from inquiry teaching approaches? Pendiente de evaluación en *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*.
- Ishiwa, K., Sanjosé, V. y Otero, J. (2007). *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. European Association of Research in Learning and Instruction (EARLI). Budapest, Hungary, August 28-September, 1. <http://www.earli.org/resources/Abstracts%20Budapest%202007.pdf>
- Sanjosé, V. Torres, T. y Soto, C. (2012). Effects of scientific information format on the comprehension self-monitoring processes: question generation. Aceptado para publicar en *Revista de Psicodidáctica*.
- Otero, J. y Campanario J.M. (1990). Comprehension evaluation and regulation in learning from science texts. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (5), 447-460.
- Nelson, T.O., y Narens, L. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. En G.H. Bower (Ed). *The Psychology of Learning and Motivation*, 26, (pp. 125-173). New York: Academic Press
- Websites (2012). 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>;
 Consultadas 22/11/2012.

CAPÍTULO 7

Efectos del Formato en que se presenta la Información sobre la Generación de Preguntas

Referencia:

Sanjosé, V.; Torres, T. y Soto, C. (2013). Effects of scientific information format on the comprehension self-monitoring processes: question generation. Aceptado para su publicación en *Revista de Psicodidáctica*, 18(2).

Publicado online en:

<http://www.ehu.es/ojs/index.php/psicodidactica/article/view/4623>. DOI: 10.1387/RevPsicodidact.4623

Effects of scientific information format on the comprehension self-monitoring processes: question generation

Efectos del formato en que se presenta la información científica sobre la autorregulación de los procesos de comprensión: la generación de preguntas

Abstract

Generating questions is a regulatory action associated with self-monitoring processes in comprehension tasks: subjects can ask 'information seeking questions' to solve comprehension obstacles. A sequence of two related experiments were conducted to trigger, classify and analyse questions asked under different conditions: reading a text about experimental scientific devices operating, watching these devices in a DVD and manipulating them in the LAB. Students' information seeking questions were classified using a simple taxonomy. Taking into account the multimedia learning principles, the advantages of realistic animations for understanding time-dependent processes and the effect of the procedural-motor activity, we expected students would ask different questions under each of the aforementioned conditions. Results confirmed the expectations: the reading condition triggered more questions addressed to describe the entities while the watching and manipulation conditions stimulated more causal questions. In addition, the effect of prior knowledge on questions including scientific concepts was analyzed.

Keywords: Science Education; Self-regulation; Question Generation; Experimental Devices.

Resumen

Formular preguntas es una de las acciones asociadas con procesos metacognitivos de regulación durante tareas de comprensión: los sujetos pueden generar 'preguntas destinadas a obtener información' para salvar obstáculos de comprensión. Se realizaron dos experimentos para estimular, clasificar y analizar las preguntas de los estudiantes en tres condiciones diferentes: leer sobre el funcionamiento de dispositivos científicos experimentales, observarlos en un DVD o manipularlos en el Laboratorio. Las preguntas fueron clasificadas usando una taxonomía sencilla. Teniendo en cuenta los principios multimedia de aprendizaje, las ventajas de imágenes realistas animadas para el aprendizaje de procesos dependientes del tiempo y el efecto de la actividad procesual-motora, se predijo diferente distribución de preguntas en las tres condiciones consideradas. Los resultados confirmaron lo esperado: la lectura de textos estimuló más las preguntas destinadas a describir las entidades, mientras las condiciones de observar y manipular estimularon más las preguntas causales. Además, se analizó el efecto del conocimiento previo sobre las preguntas que incluyen conceptos científicos.

Palabras clave: Didáctica de las Ciencias Experimentales; Autorregulación; Generación de Preguntas; Dispositivos Experimentales.

Acknowledgements: Research financed by the University of Valencia (Professors Mobility Program) and the University of Antioquia (Sustainability Program 2011-2012).

Correspondencia: Vicente Sanjosé, Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Valencia. Avda Tarongers 4, 46022-Valencia. E-mail: vicente.sanjose@uv.es

Introduction

Teachers agree about the importance of student questions for deep learning (Chin, 2002; Chin & Osborne, 2008; Dillon, 1988; Flammer, 1981; Watts, Gould, & Alsop, 1997). In general, regulatory activities are good predictors for academic success (García-Ros & Pérez-González, 2011; Wang, Haertel, & Walberg, 1993) and asking a question is a self-regulation activity.

In academic contexts the most important kind of questions are those directed at solving a lack of knowledge, or *Information Seeking Questions* (ISQ). Our aim is to study how different information formats influence ISQ generation. Specifically, we want to know whether question generation varies when students read about, visualize or handle experimental scientific devices. According to multimedia learning principles (Mayer, 2001, 2005), the format in which information is presented would affect the mental representation students' attempted to build. Thus, the obstacle-goal model about question generation (Otero, 2009) predicts that different types of questions would be asked when the operation of scientific devices was presented to the subjects in different formats: reading about the operation of scientific devices (Text condition onwards), watching on a video the same devices while they are operating (DVD condition), or handling these devices in the laboratory (LAB condition).

Questions and the information format

Compared to information presented only in text format, integrating visual information of images, graphics and pictures with text can improve comprehension (Schnotz, 2005). Moreover, according to the Cognitive Load Theory (Chandler & Sweller, 1991), seeing a process or a procedure may result in a reduction of the cognitive load compared to a situation in which the process has to be reconstructed from a series of still (static, as opposed to dynamic) images or by reading a text. Hence, animations (dynamic images) could one help to understand scientific phenomena more than static images could. Höffler and Leutner (2007) found a medium-sized overall advantage of instructional

animations over static pictures and more substantial effect sizes when the animation was highly realistic.

In addition, handling real-life devices could produce differences in learning outcomes with respect to reading about or watching them. Some recent approaches to cognition claim that the conceptual system is grounded in the brain's modality-specific systems, in the body and in the environment (Barsalou, 2012). Conceptual representations are modal, i.e. representations of concepts strongly depend on the perception modality (visual, handling, etc). Thus, some differences in comprehension should appear when students can handle real world devices, only visualize them, or they read about them. Ferguson and Hegarty (1995) found some advantages from handling real devices with respect to visualizing still pictures or diagrams, in problem-solving transfer tasks.

Questions and previous knowledge

The influence of previous knowledge on the questions generated has been investigated (Otero & Grasser, 2001; van der Meij, 1990) and two hypotheses have been considered: (a) lack of knowledge; (b) cognitive conflict. According to the former, a question is generated when the subject does not know the particular information he/she needs to know. Nevertheless Miyake and Norman (1979) showed that lack of knowledge cannot explain the diversity of generated questions. Graesser and Olde (2003) studied questions formulated about a broken device by participants with different levels of expertise, and they found that the deeper the comprehension the higher the number of adequate questions for repairing the device. These results corroborate the cognitive conflict hypothesis claim: questions depend on inconsistencies or incompatibilities between external information and the subject's previous knowledge.

Moreover, the nature of the questions asked will depend on the particular knowledge the subject has got. When a student has low scientific knowledge about, for instance, Newton's three laws of the dynamics, it is difficult for him/her to ask a question such as: *What is the resultant force causing this acceleration towards the upper side of the slope?* Instead, he/she will probably ask: *Why does the object move towards the upper side of the slope?* The second formulation refers to common knowledge and it is associated with the

construction of the mental representation called *Situation Model*, whereas the first one is associated with the *Scientific Model*.

Questions and inferences in science comprehension

According to the Obstacle-Goal model (Otero, opus cit) a question is generated when a subject finds a comprehension obstacle in his/her way to the desired goal, i.e. the elaboration of certain mental representation able to integrate the provided information. Science comprehension implies the construction of the high level mental representations (Greeno, 1989; Gangoso, 2004) and the activation of previous knowledge and inference generation are important cognitive processes in the construction of these mental representations. Making inferences may be the most important cognitive activity for science comprehension (Graesser & Zwaan, 1995). According to the Otero's model, ISQ generated in science comprehension tasks should be associated to specific obstacles found by students: the intended but failed inferences (Otero, Ishiwa, & Sanjosé, 2008) they try to build.

Trabasso and Magliano (1996) identified three broad categories of inferences generated in the process of the conscious understanding of a narrative text: associative, explanatory and predictive. *Associations* provide information about the features, properties, relationships and descriptive details of the entities (actors, objects, actions and events). *Explanations* provide reasons about why something occurs. Lastly, *Predictions* are forward-oriented encompassing the consequences of actions or occurrences, and allow for one to anticipate events.

This simple taxonomy of inferences has been extended to the field of expository, scientific information, and the corresponding taxonomy of questions has been proposed (Otero et al., 2008). First, the Q1 questions are linked to failed *associations* and frequently formulated by using *who*, *what*, *how*, *when* and *where*, addressed to the need of adequately representing the entities of the system under consideration, as well as their properties. The *explanation* questions, Q2, or *why* questions, are addressed to justify or explain why entities are the way they are. *Predictive* questions (Q3) are generated from *if-then* failed inferences, and they are aimed to foresee consequences as future facts or events taking

place in different but possible circumstances. Their usual form is *What would happen next?* or *What would happen if?...* Thus, Q2 questions are backward-causal questions seeking antecedents, whereas Q3 questions are forward-causal questions, which seek consequences.

This taxonomy for ISQ has proven to be suitable for classifying large amounts of student science questions (Torres, et al., 2012; Ishiwa, Sanjosé, & Otero, 2012).

Hypotheses

In summary, previous research showed that: a) integrating linguistic and visual information is better for comprehension than providing only linguistic information to the students; b) watching dynamic images diminish the students' cognitive load when they try to comprehend time-depending phenomena, and highly realistic images improves learning outcomes; c) handling devices in the laboratory could produce differences in comprehension with respect to only watching the devices; d) the higher the previous knowledge, the more suitable the questions asked.

From this theoretical approach, we formulated the following hypotheses:

H1) Students in the Text condition will ask more association questions than students in the DVD condition or in the LAB condition.

H2) Students in the three experimental conditions will generate large amounts of explanation questions, but the DVD or the LAB conditions could generate more explanation questions than the Text condition.

H3) Students in the Text condition will ask less prediction questions than students in the LAB condition or in the DVD condition.

H4) Students with high scientific knowledge will generate a higher proportion of questions including scientific concepts, laws and principles, than students with low scientific knowledge.

Some support for these hypotheses can be found in specific previous work on student science comprehension. Costa, Caldeira, Gallástegui, & Otero, (2000) has found that students focus on causality when they read expository texts so they ask significant amounts of explanation questions. Since causality is the basis of scientific information, substantial amounts of explanation questions are expected in the experimental conditions considered in the present study. Costa and colleagues (opus cit.) also obtained few prediction questions when students read texts about scientific phenomena, which agrees with other studies (Millis & Graesser, 1994; Graesser & Bertus, 1998). Therefore, we expect students in our reading condition to ask very few Q3 questions. In contrast, the possibility of watching the real operation of the devices in the DVD and the LAB conditions should make the mental representation of objects and events easy, and this could free cognitive resources for use in other comprehension processes, such as conjectures for causal factors.

Experiment 1 was conducted to contrast hypotheses H1, H2, and H3 in a quantitative way.

Experiment 2 was conducted to contrast hypothesis H4, and also two new hypotheses derived from some results of experiment 1. These new hypotheses are:

H5) In the LAB condition, the proportion of association questions will be similar to the one obtained in the DVD condition.

H6) In the DVD condition, the proportion of *What would happen if...* questions will be higher than the one obtained in the LAB condition, but the proportion of *Why* questions in the DVD condition will be lower than the one obtained in the LAB condition.

Method

Participants

Two samples, the first made up of 35 male and female Spanish 10th-grade secondary students (15–16 years old) and the second made up of 69 male and female Colombian 11th-

grade secondary students (16–17 years old) participated in Experiment 1. They belonged to intact groups from secondary schools of big cities in the respective countries. This was the first time participants studied Physics & Chemistry, so they had poor scientific knowledge. The three groups of Colombian students were randomly assigned to the experimental conditions. One of the Spanish groups was assigned to the reading condition and the other group was randomly split up to assign students to the DVD or the LAB condition. Nine (7 Spanish and 2 Colombian) students in the LAB condition decided to give up on the experiment so complete data was obtained for 28 Spanish and 67 Colombian students.

Fifty-five 10th-grade (15–16 year olds) and 47 12th-grade (17–18 year olds) male and female Spanish secondary students participated in Experiment 2. Students belonged to four intact groups, two from 10th grade and two from 12th grade, from two educational centres in a big city, and all of them chose Physics and Chemistry as an elective in both academic levels. The 12th-grade students had studied at least two physics courses, so they were supposed to have higher science knowledge than the 10th-grade students. In each academic level, the groups were randomly assigned to one of the two experimental conditions.

In both experiments the groups of participants did not explicitly present discriminating factors in any educational center, so they were considered to be equivalent in academic variables.

Materials

The devices used in both experiments were the following:

1) A double-cone that moves on a slope formed by two rigid bars (see description in Table 1 below).

2) A *Cartesian diver* made of a plastic pen cap and a piece of modelling clay float in a plastic bottle almost full of water and sealed with a cap. Squeezing the bottle by hand, the Cartesian diver sinks. But when one stops squeezing the bottle, the diver comes up again.

In the Text condition (considered only in experiment 1), students were given a booklet containing instructions followed by two short texts (with 91 and 92 words,

respectively, in Spanish) describing the devices. Texts were designed to have three parts: (1) activation of a well known explanatory schema, (2) presentation of an event which is expected according to this schema, (3) introduction of an unexpected “discrepant event” to produce perplexity. Chart 1 shows the Spanish version of the double cone text.

Chart 1

The Double Cone Text in the Reading Condition.

The *climbing acrobat*

We know that a round object rolls down an inclined plane. It does not move up unless it is motorized or pushed upwards. (*Activation of a well known explanatory schema*)

The *climbing acrobat* consists of a double cone (two cones joined at the base) and an inclined plane formed by two straight bars used as guides. If we place the bars parallel to each other and put the double cone on them, the object rolls down, as would be expected. (*The expected event agreeing with the explanatory schema*)

Nevertheless, when the angle of the bars is increased so that they form a *V-shape*, the double cone rolls up the slope without help!! (*The discrepant event generating perplexity*)

The order of the two texts was counterbalanced in the booklets. Below each text there was a blank space for writing questions.

In the watching condition (experiments 1 and 2), the operation of the devices was recorded on a DVD. One of the authors handled the devices and provided verbal information at the same time. The recorded verbal information was exactly the same as that which was included in the two texts. The video recording was made by an audio-visual technology expert using a professional camera. Several *shots* were made from different perspectives when it was required to facilitate the visualization of the events. The film lasted 9:45 min.

In the LAB condition (both experiments), the two devices were physically placed in the school science laboratory.

Procedure

Throughout the experiment, an ethical protocol was respected and anonymity was protected. Both experiments were presented as educational tasks offering the opportunity to learn, but participation was voluntary.

Students were encouraged to ask the questions they might need in order to understand devices operation. To trigger student questions, we followed a clear method. First, the devices were selected due to their operating in a surprising, unexpected way so they could stimulate question asking according to Dillon (1990). Second, we tried to avoid well-known obstacles to question generation: a) social barriers were eliminated as students did not ask their questions aloud in front of other students; b) question asking was awarded with better grades according to their performance in the task proposed.

In order to avoid spurious questions (i.e. questions not necessary for comprehension), the researchers provide students with a particular task mental model (Llorens & Cerdán, 2012), different from *the more the questions asked the better the task*. Therefore: a) participants were instructed to understand the operation of the devices because they were going to be assessed in a second session; b) in the second session each participant would explain the devices to another (non-participant) student and the quality of the explanation would be assessed; c) answers to questions would be given before the second session so participants would give better explanations to their partners.

At the end of the data collection sessions students were debriefed and informed that there would not be a second session.

In the Text condition (considered only in experiment 1) one of the researchers delivered the booklets to to all the group in the classroom, the instructions were read aloud, students' doubts about the procedure were clarified, and the subjects were allowed to read the texts, re-read them, and write their questions down at their own pace in the space provided for that. This session lasted approximately 35 min: 15 min devoted to the organization and the reading of the instructions, and at least 20 min for reading and writing the questions.

The procedure in the DVD condition was similar in experiments 1 and 2: group administration in the classroom and students had to write their questions down on a blank sheet. Students read the instructions and watched the DVD twice on a big screen (about 20 min). The second time around, the order of the devices shown was inverted. They wrote their questions down at their own pace during and after watching the DVD. In this condition, most participants took close to 35 minutes to complete the task.

In the LAB condition of both experiments, administration was individual and took place in the laboratory. The laboratory sessions were recorded with the permission of adults and students. The instructions were read aloud to every participant. After clarifying doubts the first device was made to operate by the researcher. At the same time, he also provided verbal information to the participant, which was the same as that contained in the texts used in experiment 1. Next, the student was encouraged to handle the device at his/her own pace. The researcher made the second device operate following the same procedure. The order of operation of the devices was counterbalanced. The explanation and the instructions took about 10 min and the manipulation of the devices took typically 10-20 min per subject. Only one student needed more than 20 minutes to perform the task.

In the laboratory, students could ask their questions aloud whenever they required so, but the researcher could not answer them. If answers were provided, each one could add new information to the student's previous knowledge, so increasing it during the experiment. In that case, the different conditions considered in this study would not be comparable. We explained the operation of the devices to the students and answered all their questions off-line, at the end of the experimental sessions.

Measurements

The dependent variables were the amount of questions asked of every type: association questions (Q1), explanation questions (Q2) and prediction questions (Q3). Whereas the greater or lesser amount of questions asked depends on many non-controlled factors (for example, an extra motivation provided by the teachers; the need to gain academic credit in Science, etc.), the distribution of the questions asked in Q1, Q2 or Q3 type is expected to be related to the mental model the student is trying to build. Therefore,

the proportions of each type of question asked were also considered. These proportions were obtained dividing the amount of each type of questions by the total amount of questions asked by each participant.

In order to know to what extent students focused their efforts of understanding on the operation of the devices, we studied the proportion of questions of any type addressed to the *target* information (Q_{target}), i.e. the amazing operation of the devices (the ‘rolling upwards’ in the double cone and the sinking and rising in the Cartesian diver).

Questions asked to clarify the instructions or the procedure were classified as procedural questions. Procedural questions represented a percentage about 1 per cent of the questions asked and they were discarded because our interest focused on the ISQ addressed to understand the scientific phenomena and not on the handling procedures.

In experiment 2 we took into account the number of questions involving scientific concepts, principles or laws (Q_{Sci}) in each academic level. These questions should correspond to the obstacles the subject detected when he/she was trying to build the scientific mental representation. We considered any scientific term, including usual terms such as *speed* or *pressure*, when they were embedded in meaningful sentences in this context.

In experiment 1, two experts (one of them not belonging to the research team) independently categorized the total amount of questions asked. Some difficulties appeared to discriminate the backward causal questions (Q2) from the forward prediction questions (Q3) involving causal factors. Therefore, a new criterion was used: we decided to classify as Q3 the questions which mention in an explicit way new elements or concrete changes in the devices’ setting. For example, the question: “*Is the liquid in the bottle necessarily water or could it be milk or oil ?*”, was classified as Q3 because it mentioned new elements or changes not present in the devices, such as *milk* and *oil*. Thus, this question was interpreted as equivalent to: *What would happen if the liquid in the bottle was milk or oil?*, because the new elements suggested the student was attempting to go beyond the observed operation of the device. However, the question: “*The liquid in the bottle, does it have to be water ?*” was classified as Q2 because it did not mention any new element or explicit

changes. In this case the meaning of the question was considered to be equivalent to *Why does the liquid in the bottle have to be water?*

This new criterion allowed a substantial inter-coder agreement, resulting in a *kappa* index of .74. Additional disagreements were easily solved.

In experiment 2 we also obtained an inter-coder substantial agreement (*kappa*= .79). Disagreements were mainly mistakes and were solved by discussion.

Results

Experiment 1: Questions formulated under conditions of reading, watching or handling experimental devices

A total amount of 537 questions were obtained, corresponding to a global average of 5.65 questions per student. Table 1 shows the main data in experiment 1.

Table 1

Experiment 1: Mean Values (and Standard Deviations) per Subject for the Total Amount of Questions Asked by Students and the Proportions of Each Type of Question in the Three Experimental Conditions.

Exp.Condition	Qtot	PropQ1	PropQ2	PropQ3	PropQtarget
Reading (Text)	4.90 (2.15)	.57 (.25)	.41 (.25)	.02 (.07)	.34 (.28)
Watching (DVD)	7.41 (2.60)	.16 (.17)	.51 (.25)	.33 (.26)	.60 (.23)
Manipulating (LAB)	4.23 (2.35)	.15 (.32)	.73 (.38)	.12 (.21)	.59 (.32)

The total amount of questions followed a normal distribution, but the amounts of Q1, Q2, and Q3, did not. When the corresponding proportions were considered, PropQ1, PropQ2, PropQ3, and PropQtarget, only the proportion of Q3 was significantly different from a normal distribution, according to the Kolmogorov-Smirnov test. Thus, the proportions of Q1, Q2, Q3 and Qtarget were considered in further analyses. When PropQ3 was implied we used the non-parametric Mann-Whitney test to contrast our hypotheses; otherwise ANOVAs were used.

First, simple ANOVAs for the proportions of Q1, Q2, and Qtarget taking the sub-sample (Spain/Colombia) as a between-subject factor did not show any significant effect (PropQ1: $F < 1$; PropQ2: $F = 1.005$; $p > .30$). The same result was obtained performing the Mann-Whitney test for the Proportion of Q3 questions ($Z = -1.700$; $p = .089$). Therefore, the Colombian and the Spanish participants were considered together onwards.

Different analyses were performed taking the experimental condition (Text/ DVD/ LAB) as the between-subjects factor. Table 2 summarizes the main data from these analyses.

Table 2

Experiment 1: Main data from the statistical analyses related to the experimental condition factor. Post-hoc pair comparisons addressed to contrast the hypotheses.

	Global analyses	Post-hoc pair comparisons
PropQ1	$F(2,92) = 36.199$; $p < .001$ $\eta^2 = .44$; $P = 1.0$	Text >DVD; $p < .001$; Text >LAB; $p < .001$ (Dunnet) DVD \approx LAB; $p = .996$ (Sheffé)
PropQ2	$F(2,92) = 7.476$; $p = .001$ $\eta^2 = .14$; $P = .94$	Text <LAB; $p < .001$; Text \approx DVD; $p = .178$ (Dunnet) DVD \leq LAB; $p = .054$ (Sheffé)
PropQ3	$X^2 = 39.891$; $p < .001$ (Kruskal-Wallis)	Text <DVD; $p < .001$; LAB <DVD; $p = .008$ (M-Whit) Text \approx LAB; $p = .07$ (Mann-Whitney)
PropQtarget	$F(2,92) = 10.751$; $p < .001$ $\eta^2 = .19$; $P = .99$	Text <DVD; $p < .001$; Text <LAB; $p = .017$; (Sheffé) DVD \approx LAB; $p = .985$ (Sheffé)

In summary, the Text condition stimulated a higher proportion of association questions compared to the other two experimental conditions and hypothesis H1 was supported by the data; the DVD condition stimulated a higher proportion of prediction questions compared to the other two conditions, and H3 was partially supported; and the LAB condition seemed to stimulate a higher proportion of explanation questions with respect to the other two experimental conditions, although these proportions were high in the three experimental conditions, partially supporting H2.

The last two results were contrasted again in experiment 2.

Experiment 2: Replication and effect of prior knowledge on questions about experimental devices in watching and handling conditions

Experiment 2 aimed to contrast H4 concerning the effect of previous knowledge on the questions asked, and also hypotheses H5 and H6 to replicate some interesting results obtained in experiment 1.

A total amount of 661 questions asked by the students in the two academic levels and in the two experimental conditions was obtained. Table 3 shows the main data in the 10th and 12th grades. The variable Qsci accounted for questions including at least one scientific term (concept, law or principle) in their verbal formulation.

Table 3

Experiment 2: Mean Values (and Standard Deviations) per Subject in Each Academic Level for the Total Amount of Questions Asked, the Proportion of Each Type of Question and the Amount of Questions Including Scientific Terms.

Acad.Level	Qtot	PropQ1	PropQ2	PropQ3	Qsci
10 th -grade	5.45 (2.76)	.13 (.18)	.74 (.22)	.13 (.17)	1.35 (1.24)
12 th -grade	7.68 (4.83)	.19 (.21)	.57 (.22)	.25 (.23)	1.77 (2.22)

Most of the questions asked by 10th-grade students were explanation questions (3.9 questions/subject) with amounts clearly lower for association and prediction questions (about 0.8 questions/subject in both cases), whereas 12th-grade students were able to generate a significant amount of prediction questions (1.9 questions/subject) in addition to the explanation questions (4.6 questions/subject).

More questions containing scientific terms were asked by 12th-grade students compared to 10th-grade students, but PropQsci, was higher for the 10th-grade students than for the 12th-grade students. The Mann-Whitney test showed that these differences in PropQSci were not significant ($U= 1219.500$; $p= .620$), against the hypothesis H4.

Second, we contrasted hypothesis H5 and H6. Table 4 shows the mean values for the proportion of every type of question asked by students in the experimental conditions considered.

Table 4

Experiment 2: Mean Values (and Standard Deviations) per Subject for the Total Amount of Questions Asked by Students and the Proportions of Each Type of Question in the Two Experimental Conditions.

Exp.Condition	Qtot	PropQ1	PropQ2	PropQ3
Watching (DVD)	5.58 (3.14)	.14 (.21)	.61 (.26)	.25 (.23)
Manipulating (LAB)	7.53 (4.62)	.17 (.17)	.72 (.20)	.11 (.14)

None of the variables were normally distributed, except the proportion of Explanation questions, PropQ2. Thus, non-parametric Mann-Whitney tests for PropQ1 and PropQ3, and a simple ANOVA for PropQ2 were performed. Table 5 shows the main data from the contrasts taking the experimental condition (DVD/ LAB) as the between-subjects factor.

Table 5

Experiment 2: Main data from the statistical analyses addressed to contrast the hypotheses.

	Statistical parameters	
PropQ1	$U= 1099.000; p= .171$	DVD \approx LAB
PropQ2	$U= 878.000; p= .004$	DVD < LAB
PropQ3	$F(1,100)= 5.576; p= .020; \eta^2= .05; P= .65$	DVD > LAB

Therefore the LAB condition stimulated a significantly higher proportion of explanation questions, but a significantly lower proportion of prediction questions than the DVD condition, supporting H6. Both conditions stimulated similar proportions of association questions, in agreement with H5.

Concerning the effect of previous knowledge, H4 was not supported by the data: students having high scientific knowledge did not use more scientific terms in their questions than students having low scientific knowledge.

Discussion

Our experiments have shown that question formulation can be stimulated under particular conditions. Moreover, the format with which information is delivered to students can modify the kind of questions being generated, thereby giving evidence about the particular contribution of the scholar laboratory activities to science learning. The main points of this study can be summarized as follows:

1.-Significant differences between the reading condition and the other experimental conditions (watching and handling) in the proportion of association questions were obtained, with a large effect size and high statistical power. Consistently, there are significant differences between the reading condition and the handling condition in the proportion of other questions. These other questions are those addressing backward and forward causality. In the handling and watching conditions, the possibility of watching the devices in a realistic format seems to free enough cognitive resources to generate not only *Why* questions, but also *What would happen if...?* questions and to focus on important information more than in the reading condition.

2.-In experiment 1 the proportions of explanation questions were high in the three conditions, but the handling condition seemed to stimulate a higher proportion of explanation questions than the other two conditions. In addition the watching condition stimulated a higher proportion of these questions than the other two conditions. These results were supported by the data in experiment 2 for the watching and the handling conditions, although the statistical power was not high enough. Thus, even though the results have been replicated in experiments 1 and 2, a new, specific and controlled experiment is needed to increase their reliability.

We can advance an explanation of these results. The possibility of handling the devices, and not only watching their operations, could transform some prediction questions into explanation questions so generating the observed differences between the watching and the handling conditions. The substantial proportions of prediction questions in the form *What would happen if...* obtained in the DVD condition suggest that some students tried to skip their comprehension obstacles by searching for causal factors and making

conjectures. Although the conjectures could not be checked immediately, they represent an active effort to understand the devices mentally moving along causal chains. In the LAB condition, when an obstacle associated with a failed predictive inference is found, subjects can follow a *guess-and-check* strategy to immediately know what is really going to happen in the devices. Thus, instead of making a *What would happen if* question, a *Why* question would be generated as a consequence of the observed results of the handling done. This new conjecture has to be contrasted in a specific, controlled experiment.

3.-It was expected that the higher the previous knowledge, the richer the attempted mental representation would be. In fact, the 12th-grade students generated a higher amount of questions than the 10th-grade students, especially prediction questions. This result suggests that attempting *What would happen if* inferences requires certain level of previous knowledge involved in some causal scheme.

However, although the 12th-grade students obtained greater mean values than the 10th-grade students for questions containing scientific terms, the difference was not significant. That is an unexpected result since we expected the higher level students to recover and use their scientific knowledge more than the lower level students.

Educational consequences

The benefits of experimental activities in science education have been widely researched (Hofstein & Lunetta, 2004; Woolnough & Allsop, 1985). Learning tasks in the classroom should bring students as close as possible to scientists' work (Chinn & Malhotra, 2002). 'Good questions' are the origin of scientific knowledge so science education should stimulate question generation in students. Although asking questions produces significant benefits (Rosenshine, Meister, & Chapman 1996), students ask very few questions in the classroom (Dillon, 1988; Good, Slavings, Harel, & Emerson, 1987; Graesser & Person, 1994).

Science texts are difficult to understand, even for college or university students, due to the complex mental representations readers have to build from common-usage language

(Echevarria, 2006). Reading a text about scientific devices without any help from images implies a cognitive load for representing entities, and an additional difficulty in focusing on causal antecedents or consequences. Realistic images help students to focus on causal relationships, which is a goal of teachers. Since causality is essential in science comprehension, this is an interesting result giving psychological support to the use of experimental devices in science education. In addition, when students have the possibility of handling experimental devices, they can go beyond simply asking *why* questions and explore causal relationships by themselves using hypothetic-deductive reasoning, so generating predictive *What would happen if...* questions. Predictive inferences seemed to have helped these students to advance through causal chains using hypothetic-deductive reasoning. This is a specific contribution of experimental activities in laboratory conditions, which could be taken into account by teachers.

A higher knowledge was associated with the use of more hypothetic-deductive reasoning in our students. However, even at the end of the secondary education, students seemed to have serious difficulties representing reality using science. This outcome alerts us about students' ability to apply what has been learned in the classroom to real problems supporting the need for more experimental activities which link reality to scientific knowledge.

Limitations of this study

Some limitations that have to be considered in present study. First, external validity is not guaranteed so results should not be straightforward transferred to other samples. Secondly, there were some procedure differences among the experimental conditions that could introduce some non-controlled effects: a) in the LAB condition, students asked their questions orally instead of writing them down on paper; b) in the LAB condition, student actions and questions were recorded whereas there was no recording device in the other two conditions. Thirdly, some unknown factors affected the total amount of questions asked by the students in some groups. Using proportions as the dependent variables, we tried to avoid these differences.

Since we replicated in experiment 2 the main results obtained in experiment 1, we expect that these limitations will not seriously affect the reliability of our conclusions, at least not in a qualitative manner.

References

- Barsalou, L.W. (2012). The human conceptual system. In M.J. Spivey, K. Mcrae & M.F. Joannis (Eds.), *The Cambridge Handbook of Psycholinguistics* (pp 239-258). Cambridge: Cambridge University Press.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332. doi:10.1207/s1532690xci0804_2.
- Chin, C. (2002). Student-Generated Questions: Encouraging Inquisitive Minds in Learning Science. *Teaching and Learning*, 23(1), 59-67.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education*, 86, 175–218. doi: 10.1002/sce.10001.
- Chin, C., & Osborne, J. (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1-39. doi:10.1080/03057260701828101
- Costa, J., Caldeira, M.H., Gallástegui, J.R., & Otero, J. (2000). An analysis of question asking on scientific texts explaining natural phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 602-614. doi: 10.1002/1098-2736(200008)37:6<602::AID-TEA6>3.0.CO;2-N.
- Dillon, J.T. (1988). The remedial status of student questioning. *Journal of Curriculum Studies*, 20, 197-210. doi:10.1080/0022027880200301.
- Dillon, J.T. (1990). *The practice of questioning*. New York: Routledge.

- Echevarría, M.A. (2006). ¿Enseñar a leer en la Universidad? Una intervención para mejorar la comprensión de textos complejos al comienzo de la educación superior. *Revista de Psicodidáctica*, *11*(2), 169-188.
- 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. doi:10.1207/s1532690xci1301_4.
- Flammer, A. (1981). Towards a theory of question asking. *Psychological Research*, *43*, 407–420. doi: 10.1007/bf00309225.
- Gangoso, Z. (2004). Un modelo para el proceso de resolución de Problemas en Física. *Actas II Jornadas de Investigación en Resolución de Problemas en Física*. Córdoba (Argentina).
- García-Ros, R. & Pérez-González, F. (2011). Validez predictiva e incremental de las habilidades de autorregulación sobre el éxito académico en la universidad. *Revista de Psicodidáctica*, *16*(2), 231-250.
- Good, T. L., Slavings, R. L., Harel, K. H., & Emerson, M. (1987). Students' passivity: A study of question asking in K–12 classrooms. *Sociology of Education*, *60*, 181–199. doi: 10.2307/2112275.
- Graesser, A. C., & Bertus, E. L. (1998). The construction of causal inferences while reading expository texts on science and technology. *Scientific Studies of Reading*, *2*(3), 247-269. doi:10.1207/s1532799xssr0203_4.
- Graesser, A.C., & Olde, B. (2003). How Does One Know Whether A Person Understands a Device? The Quality of the Questions the Person Asks When the Device Breaks Down. *Journal of Educational Psychology*, *95*, 524-536. doi: 10.1037/0022-0663.95.3.524.
- Graesser, A.C., & Person, N. K. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal*, *31*, 104–137. doi:10.3102/00028312031001104.

- Graesser, A.C., & Zwaan, R. A. (1995). Inference generation and the construction of situation models. In C. A. Weaver, S. Mannes, & C. R. Fletcher (Eds.), *Discourse comprehension: Strategies and processing revisited. Essays in honor of Walter Kintsch* (pp. 117-139). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Greeno, J.G. (1989). Situations, Mental Models, and Generative Knowledge, in D. Klahr and K. Kotovsky (Eds.), *Complex Information Processing: The Impact of Herbert Simon*, (pp. 285-318). Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Höffler, T.N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction, 17*, 722-738.
doi: 10.1016/j.learninstruc.2007.09.013.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education, 88*(1), 28-54. doi: 10.1002/sci.10106.
- Ishiwa, K., Sanjosé, V., & Otero, J. (2012). Questioning and reading goals: Information-seeking questions asked on scientific texts read under different task conditions. Accepted for publication in the *British Journal of Educational Psychology*.
doi:10.1111/j.2044-8279.2012.02079.x
- Llorens, A. C., & Cerdán, R. (2012). Assessing the Comprehension of Questions in Task-Oriented Reading. *Revista de Psicodidáctica, 17*(2) (preprint). Retrieved September 4th, 2012 from:
<http://www.ehu.es/ojs/index.php/psicodidactica/article/view/4496/5808>. doi: 10.1387/rev.psicodidact.4496.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 31-48). Cambridge: Cambridge University Press.
- Millis, K., & Graesser, A. (1994). The time-course of constructing knowledge-based inferences for scientific texts. *Journal of Memory and Language, 33*, 583-599. doi: 10.1006/jmla.1994.1028.

- 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*, 357–364. doi: 10.1016/S0022-5371(79)90200-7.
- 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.
- Otero, J., & Graesser, A. C. (2001). PREG: Elements of a model of question asking. *Cognition and Instruction*, *19*, 143–175. doi: 10.1207/S1532690XCI1902_01.
- Otero, J., Ishiwa, K., & Sanjosé, V. (2008). *Readers' Questioning: Some Hints For Automated Question Generation*. Workshop on the Question Generation Shared Task and Evaluation Challenge. September 25-26, NSF, Arlington, VA
- Rosenshine, B., Meister, C., & Chapman, S. (1996). Teaching students to generate questions: A review of the intervention studies. *Review of Educational Research*, *66*, 181–221. doi:10.3102/00346543066002181.
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 49-69). Cambridge: Cambridge University Press.
- Torres, T., Duque, J.K., Ishiwa, K., Sánchez, G., Solaz-Portolés, J.J., & Sanjose, V. (2012). Preguntas de los estudiantes de educación secundaria ante dispositivos experimentales. *Enseñanza de las Ciencias* *30*(1), 49-60.
- Trabasso, T., & Magliano, J.P. (1996). Conscious Understanding during Comprehension. *Discourse Processes*, *21*, 255-287. doi:10.1080/01638539609544959.
- Van der Meij, H. (1990). Question Asking: To Know That You Do Not Know Is Not Enough. *Journal of Educational Psychology*, *82*, 505-512. doi:10.1037/0022-0663.82.3.505.

Wang, M.C., Haertel, G.D., & Walberg, H.J. (1993). Toward a knowledge base for school learning. *Review of Educational Research*, 63(3), 249-294. doi: 10.3102/00346543063003249.

Watts, M., Gould, G., & Alsop, S. (1997). Questions of understanding: categorising pupils, questions in science. *School Science Review*, 79(286), 57-63.

Woolnough, B.E., & Allsop, T. (1985). *Practical work in science* Cambridge: Cambridge University Press.

CAPÍTULO 8

Preguntas en el Laboratorio: un elemento importante en el Aprendizaje por Investigación

Referencia:

Torres, T.; Milicic, B.; Soto, C. y Sanjosé, V. (2013). Generating students' information seeking questions in the scholar lab: what benefits can we expect from inquiry teaching approaches? Aceptado para su publicación en la revista *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*.

Running head: Questions in Lab

Title: Generating students' information seeking questions in the scholar lab: what benefits can we expect from inquiry teaching approaches?

Abstract:

Physics teachers use experimental devices to show students the application of scientific concepts, principles, and laws in the real world. This paper studies question generation by students of secondary and under-graduate university levels when they are confronted with basic experimental devices in different but usual teaching situations: reading about devices while studying static images or diagrams, watching an experimental demonstration and manipulating the devices in the laboratory. The influence of the prior scientific knowledge on the asked questions it also analysed. Inquiry learning environments involving lab projects seemed to stimulate more inferences addressed to causality when students tried to build mental models, whereas reading about devices with the help of static images stimulate more descriptive inferences and inhibited predictive ones.

Keywords: basic physics, problem solving, experimental devices, question generation

Generating students' information seeking questions in the scholar lab: what benefits can we expect from inquiry teaching approaches?

1.-Introduction

Teachers agree about the importance of experimental work in science education because it gives opportunities to develop some important competences in their students. First, practical work facilitates modelling reality with science (Truyol and Gangoso, 2012). Second, experimental situations in the Laboratory can be used to place the students' work close to the scientists' work (Chinn and Malhotra, 2002). Third, experimental work enables the developing of procedural competences such as using measuring techniques, controlling variables and relating numerical computing to real world. For their educational benefits, experimental activities in science education are a permanent focus of interest in many countries (Several Authors, 2012).

Experimental devices are used in science education in different ways (Trumper, 2003; Holstein and Lunetta, 2004; Barolli, Luburú and Guridi, 2010 and references there in). This diversity is due, among other factors, to the varied conceptions which teachers have about what 'science' and 'science learning' are (Lederman, 1999). In fact, students faced experimental devices in science education, but not always in lab situations. Experimental devices appear in textbooks and are used in lecture demonstrations too. There are at least three basic different teaching situations involving experimental devices: a) Reading about the operation of experimental devices in a textbook, usually with the help of static images or diagrams; b) Watching the devices operation in a lecture demonstration or in a specialized movie; c) Manipulating the devices in a lab project. Reading about experimental devices or watching the devices operation in lecture demonstration are very frequent in teaching science but in these two ways students are not really engaged in experimental work. Both uses are typical in the 'reception learning paradigm' (Novak,

1979). Experimental projects in which students are free to manipulate the devices have been used in other teaching conceptions, as the ‘learning by discovery’ approaches or, recently, Inquiry teaching and learning (Anderson, 2002).

Inquiry learning has been defined as the educational process in which students being engaged in conceptual understanding, ask questions and construct solutions (Gunstone and Mitchell, 1998). According to Schraw, Crippen, and Hartley (2006), inquiry teaching promotes self-regulation because students have to activate “*cognitive and metacognitive strategies to monitor their understanding (...) such as predict-observe-explain* (Windschitl, 2002) *or question-asking* (Chin and Brown, 2002)” in investigation activities (p. 118).

In this same context, i.e. self-regulated learning and inquiry teaching, the present paper focuses on question-asking when students face experimental devices in inquiry environments. We would like to obtain support for inquiry teaching involving practical work, not only from epistemic but also from psychological grounds. Comprehension monitoring has been associated to academic success (Wang, Haertel, and Walberg, 1993) and deep comprehension (Chin and Osborne, 2008), and question generation has been defined as a monitoring mechanism. Therefore, developing students’ question asking in science education is essential to them to achieve deep understanding.

The aim of this paper is to obtain evidence about the type of questions generated when students are confronted with experimental devices handling them in the lab, as typical in inquiry teaching environments. We will use a cognitive approach to compare the above teaching situation to other usual teaching situations such as reading about experimental devices with the help of static images, and visualizing the devices operation in lecture demonstrations.

1.1. Students’ questions in science education

Scientific research begins with “a good question.” In fact, teachers agree on the educational potential of students’ questions Chin and Osborne (2008). Accordingly, students’ questions in science education have been analysed from several perspectives -

didactic, epistemic, cognitive, procedural, etc. They have been classified using different criteria (Scardamalia and Bereiter, 1992; Watts, Gould, and Alsop, 1997; Anderson and Krathwohl, 2001; Chin and Chia, 2004), their quality has been studied (Graesser and Person, 1994) or they have been associated to comprehension, (Chin and Brown, 2002; Harper, Etkina and Lin, 2003). Other studies, apart from the ones in science education, have shown an improvement in comprehension and memory when students were instructed in question asking (Craig, Gholson, Ventura, Graesser, & the Tutoring Research Group, 2000; Rosenshine, Meister, & Chapman, 1996).

Finally, and in relation to the aim of this paper, questions about experimental devices have been also investigated. Students instructed in inquiry situations learn to ask more and better quality questions than other students in different teaching situations (Hartford and Good, 1982; Cuccio-Schirripa and Steiner, 2000). Graesser and Olde (2003) investigated the role of previous knowledge on question generation. Participants with different levels of expertise were faced with a broken device and they had to ask questions in order to repair it. The authors found that participants having higher expertise and knowledge about the device operation, asked a higher amount of quality questions, i.e. those useful to repair the broken device.

In a previous study, Sanjosé, Torres and Soto (2012) analysed how different formats in the presentation of information on physical devices affected question generation in Secondary students. They consider reading about experimental devices (without any images or diagrams), visualizing the devices in a DVD, and also manipulating the devices in the lab. The reading condition created more descriptive obstacles, the visualizing condition stimulated more predictive questions and the manipulating condition stimulated more explanation questions. The origin of observed differences between the visualizing and the manipulating conditions were not clearly stated, although the authors elaborated a non-contrasted conjecture to explain them.

The present study aims to replicate some findings of Sanjosé, Torres and Soto's (2012) study, but introduces some interesting innovations: 1) the consideration of static images together with texts, which is a usual learning situation in science classrooms; 2) the contribution of the static/dynamic images factor, together with the visualization/manipulation factor; 3) the contrast of the hypothesis about the reason for the

differences between the visualizing and manipulating conditions; 4) the consideration of university students in the sample -who have higher specific knowledge than secondary students-, to obtain new evidence about the contribution of science knowledge to question asking in science education; 5) the improvement of certain methodological aspects to reduce the error variance. From points (1) (2) and (4) we will obtain new specific data about question generation and self-regulated learning in lab situations. As point (3) concerns, we aimed to shed light on the reasons of the non-explained results obtained in Sanjosé and colleagues' work. Finally, point (5) involves some procedural details improving the *ceteris paribus* requirements with respect to that mentioned previous study.

1.2. A cognitive approach to question generation

We will focus on a particular type of questions, the 'information seeking questions', i.e. questions aim at obtaining additional information on content. They are very important in academic contexts. These questions are considered to be 'prototypical,' 'genuine,' or 'sincere' by many researchers (Van der Meij, 1994; Flammer, 1981).

Even though students' questions have received attention by the researchers, less work have been devoted to propose cognitive mechanisms for question generation (Ram, 1991; Flammer, opus cit).

Recently, Otero has proposed an 'Obstacle-Goal' model (2009) which postulates that information seeking questions are generated by subjects as a consequence of attempts to skip comprehension obstacles found in the way to their mental goal: to build an specific mental representation about the content. Thus, different questions are generated from different types of comprehension obstacles. This model is rooted in Nelson and Narens' (1990; Otero and Campanario, 1990) two-phase model of self-regulation processing, and also in Kintsch's cognitive theory for comprehension (Kintsch, 1998; Kintsch and Greeno, 1985) further developed for science comprehension (Greeno, 1989; Truyol, Sanjosé and Gangoso, 2012). According to this model, 'comprehension obstacles' refer to the impossibility of building the mental representation the subject needs to understand new information. Making inferences to elaborate the information and/or to link it with previous knowledge have been suggested to be the most important cognitive activity for science

comprehension (Graesser and Zwaan, 1995). Thus, most of the comprehension obstacles in science understanding should come from intended but failed inferences. If students had the opportunity to ask questions, most ISQs would be associated with failed inferences in the construction process of the desired mental representation (Otero and Graesser, 2001). In science comprehension, these mental representations should be the Situation Model, the Scientific Model or the Abstract Model.

Trabasso and Magliano (1996) studied inference generation in the process of conscious understanding of a narrative text, and identified three broad categories of inferences: associative, explanatory and predictive. ‘Associations’ provide information about features, properties, relations and descriptive detail of the entities (actors, objects, actions and events). ‘Explanations’ provide reasons about why something occurs. Lastly, ‘Predictions’ are forward-oriented and include consequences of actions or events, and they anticipate occurrences. Student questions should be associated to these inferences when they failed.

The Obstacle-Goal model assumes that the typology of inferences intended in science understanding tasks will be the same proposed by Trabasso and Magliano (opus cit). According to this assumption, a typology for students’ information seeking questions has been proposed:

- 1) Association questions, Q1, aimed at knowing objects and events better (originated by non-achieved associative inferences), formed as “What..., How..., When...?” For example: “What is the shape of a double cone?”, “How big is the bottle used in the Cartesian diver?”.
- 2) Justification questions, Q2, aimed at justifying why objects and events are the way they are (originated by non-achieved explicative inferences), frequently formed as “Why..., Why not..., How is it that...?” For example: “How is it possible that the double cone rolls the slope up?”; “Why does the Cartesian diver come up to the surface?”
- 3) Prediction questions, Q3, aimed at anticipating future happenings or events that could take place if the conditions were different to the ones explained in the information provided, formulated as “What would happen if..., What is going to happen...?” For

example: “What would happen if we used oil instead of water (in the Cartesian diver)?”;
“What would happen if we increased the ‘V-shape’ angle of the guides?”

These three types of questions are also related to three main scientific competences: describing reality in scientific terms (modelling), explaining why objects and events are as they are using scientific laws and principles (establishing causal antecedents), and predicting events using hypothetic-deductive reasoning (predicting causal consequents). It has been proven this typology is sufficient to account for the questions asked by students aimed to understand experimental devices (Torres, Duque, Ishiwa, Sánchez, Solaz-Portolés and Sanjosé, 2012). The Obstacle-Goal model has received empirical support in recent experiments, (Ishiwa, Sanjosé and Otero, 2012), hence we will adopt the above cognitive perspective for question generation.

1.3. Hypotheses

As we said before, we aimed to obtain empirical evidence of the advantages of using experimental devices in lab situations from an inquiry learning perspective, compared to other two very frequent learning situations involving experimental devices, using videos to show how experimental devices operate –students can visualize the operation of the devices in real time without the possibility of manipulating them as in lecture demonstrations- and reading about devices with the help of static images in a textbook. We will refer to these three situations as “LAB” condition”, “DVD” condition, and “Text-plus-Static-images” condition (TIE onwards).

The possible advantages of the LAB condition respect to the other two considered learning situations can be originated by two main factors:

I) The static/dynamic nature of the images being observed. In classroom demonstrations or in handling work in the lab, the operation of devices can be observed as an event dependent on time, whereas in textbooks the operation has to be imagined from text content and static images. In spite of the fact that the integration of textual information and images or graphics can improve comprehension (Schnotz, 2005), the visualization of an event developed in time can produce a reduction in the cognitive load with regard to the

situation in which the process has to be reconstructed from the imagination, according to the cognitive load theory, (Chandler and Sweller, 1991). In the last case, cognitive resources have to be dedicated to the de-codification of the text and/or to construct mental models to represent the temporal development of the event which cannot be directly perceived with the senses. Höffler and Leutner (2007) found an instructional advantage for animations on still images with a moderate effect size, but with a large effect size when the animations were realistic. In a recent research on biology education, dynamic images (video) help students to better identify animal species in the reality (aquarium) than book-based teaching (Pfeiffer, Scheiter, Köhl, and Gemballa, 2011).

According to the previous mentioned findings, our first hypothesis is:

H1: Students in the text-plus-static images condition (TIE) will formulate a greater proportion of descriptive questions (Q1 onwards) and, therefore, less proportion of predictive questions, (Q2 and Q3 onwards) than the students in the conditions of dynamic images (DVD and LAB conditions).

In the TIE condition we expect students will find more obstacles to know the devices components and the devices operation along time. Thus, students will generate “What, When, How, Where” questions. However, when students can visualize a real device operation (in DVD or in LAB conditions), we expect this type of obstacle will almost disappear and the cognitive resources will be used to establish causal relationships.

In previous experiments on question generation from the reading of expository texts, many descriptive and causal questions but very few predictive questions were produced (Costa, Caldeira, Gallástegui and Otero, 2000; Millis and Graesser, 1994; Graesser and Bertus, 1998). However, it has been found that students do generate predictive questions when they can watch videos about experimental devices (Sanjosé, Torres and Soto, 2012). As causal questions concerns, we expect that an important proportion of questions might be of this type (Q2) in whatever condition. This is because causality is the most important relationship among ideas in comprehension (Millis and Graesser, 1994, Singer and Gagnon, 1999; Wiley and Myers, 2003).

II) The possibility of manipulating the devices. The possibility of interacting with real devices manipulating them in the LAB condition opens the way to the activation of sensory-motor resources in the brain which could affect reasoning (Barsalou, 2008, Zwaan, 2004). Moreover, the possibility of free manipulation could alter the proportions of causal and predictive questions on the devices. When a student tries to causally understand the operation of the devices, he/she can elaborate a conjecture about the causal role of a determined factor formulating a “What would happen if this factor was altered?” question (Q3). In the manipulating condition, instead of formulating this Q3 question, the subject has the possibility of modifying the factor and observing what happens. This possibility does not exist in the only-watching condition. If that which happens after manipulation cannot be understood, then a different and specific causal question will appear, Q2, as a consequence of the handling carried out. That is, handling can eliminate some Q3 predictive questions, but, on the other hand, it opens the way for new Q2 questions.

Our second hypothesis is:

H2: Students in the manipulation (LAB) condition will produce a higher proportion of justification “Why did this happen?”-type questions (Q2), but a lower proportion of Prediction “What would happen if?”-type questions (Q3) than students in the Visualization-without-manipulation (DVD) condition. These LAB/DVD differences in the proportions of Q2 and Q3 will be due to the extra number of questions formulated after, and as consequence of, the handling of the devices in the LAB condition.

III) Finally, previous knowledge in science should be associated with the mental representation students try to elaborate about the devices operation. We expect that the higher the level of previous knowledge, the more frequent the use of scientific concepts, theories, and principles to model the devices operation. Therefore, in any of the considered learning situations, the obstacles detected on the way to comprehension could also depend on previous knowledge, and that may be seen reflected in the way questions are formulated (Miyake and Norman, 1979).

Our third hypothesis is:

H3: No matter the experimental condition, students with higher science knowledge will include in their questions a greater quantity of scientific terms than students with lower specific science knowledge. We expected the academic level to be associated with the specific prior knowledge about science.

2. Method

2.1 Participants

Ninety-one Secondary students and ninety University male and female students from a large city participated in this study. The secondary-school students belonged to 10th grade groups in a public school of high academic level. All of them were taking Physics. The university students were in the second year of a grade in Physics in a public university and were taking Mechanics (a part of Physics which is very relevant for the comprehension of devices). Therefore, the academic level could affect students' intended mental representation and so the questions asked.

Table 1 shows the distribution of the subjects in the two experimental conditions and on the two academic levels.

	Second.10th	Univ.	Totals
TIE	25	26	51
DVD	30	31	61
LAB	36	33	69
Totals	91	90	181

Table 1: Distribution of the participants according to the experimental conditions and academic levels

The Secondary participants belonged to three intact and equivalent groups, so each group was assigned to one of the three experimental conditions at random. University students belonged to two groups. Thus they were assigned at random to one of the three experimental conditions in each group.

2.2. Materials

It has been proven that perplexity brings about the generation of questions in students (Dillon, 1990). Thus two experimental devices operating in an amazing, unexpected way (Torres et al. 2012) were used. These devices are:

- 1) A *Double Cone*, which rolls downward on a slope formed by two straight guides, but able to roll towards the upper part of the inclined level when the two guides are in a “V” form with the vertex in the lower part of the ramp.
- 2) The *Cartesian Diver*, which sinks to the bottom when the water bottle in which it is floating is squeezed, but returns to the surface when the squeezing stops.

They both are well-known experimental devices (Websites, 2012) whose physical explanation can be found in Appendix 1.

The devices were made under the specifications of the researchers and their good operation was tested repeatedly to avoid any risk in their manipulation.

Two short texts were prepared with the description and operation of each device. These same texts were used in all of the three experimental conditions. Each text was composed of three parts: a) the activation of an explanatory schema well-known by the students (i.e. when a round object is abandoned on an inclined plane, it rolls the slope down); b) the presentation of an event hoped for according to this explanatory schema (a cylinder rolling the slope down); c) the introduction of a ‘discrepant event’ with this explanatory schema (the double cone seems to roll the slope upwards).

For the condition of visualization without handling (DVD condition), two image files were elaborated by filming the operation of the real devices. The experimental set-ups were carried out in the school lab and we proceeded to the filming of their operation afterwards. The filming was carried out by an audio-visual technician with professional equipment. Various planes were shot from different perspectives to facilitate the visualization of the operation of the devices. The filming of each device lasted between 4 min 30 sec, and 5 min 00 sec.

For the ‘text + static images’ (TIE) condition, we proceeded in the following way: from each video recording obtained for the devices, 3 specific still shots were selected, one for each of the parts of the text, to which labels, arrows, etc. were added, as it is typical in schematic images in textbooks. These modified still shots were the ones used in the TIE condition. In such a way we tried to make some variables constant (i.e. realism of the images).

Appendix II shows one of the texts with one of the static images used in the TIE condition.

2.3. Variables

The independent variables were the experimental condition (TIE/ DVD/ LAB) and the academic level (10th grade / university). The questions of each type, Q1, Q2, Q3; and the total amount of questions formulated by each student, Q_{tot}, were accounted for.

The causal questions generated after, and as a consequence of the manipulation of the devices in LAB condition, Q_{2aftermanip}, were differentiated and were accounted for separately. We simply paid attention to that questions referring to actions or observed results not present in the initial setting and operation of the devices. These specific questions, Q_{2aftermanip}, should not be produced in the DVD condition. Finally, the amount of questions whose formulation included at least one scientific term, Q_{sci}, was also considered.

The dependent variables were the proportions of each type of question with regard to the total amount of questions: PropQ1 = Q1/ Q_{tot}; PropQ2= Q2/ Q_{tot}; PropQ3= Q3/ Q_{tot}. Differences in the proportions of each type of question can be associated with distinct types of mental representation which students try to construct and with the obstacles found. For example, a greater proportion of Q2 questions would indicate a greater concern for saving causal comprehension obstacles, or of justifying “Why are things the way they are?” A greater proportion of questions with scientific terms, PropQ_{sci}, could indicate greater efforts of modelling reality with science by the students.

2.4 Procedure

An ethical protocol was respected in the entire process. Professors, parents, and students were informed weeks before the experiment to assure consented and willing participation. The researchers committed themselves to respect the confidentiality of the data at every moment.

To preserve the validity of the study, it was proper to assure (to the degree possible), that the students would formulate the questions that they really needed in order to understand the devices, and not ‘all of the questions that came to mind’. Thus, we use the particular procedure by Torres and colleagues (2012). In the instructions, two experimental sessions were announced. In the first session, students should have comprehended the operation of the devices, and in the second session, they would do a comprehension test which would be the source of the experimental data. In the first session, students could formulate all of the questions they needed to comprehend the devices, (and to hand them in). The researcher would respond to each student’s questions before the second session, in such a way that performance in the comprehension test would improve. In this way, the focus of attention drifts away from the questions themselves to the comprehension of experimental devices. After the taking of data in the first session, the students were informed that the second session would not be necessary and the researchers answered the students’ questions in front of the group-class.

In the TIE condition, the session took place in a classroom and was carried out for groups of participants together. One of the researchers delivered the instructions to students and read them aloud. When doubts were clarified, the first text with static images was handed out. The order of the texts was counterbalanced. After the text with the static images, a blank sheet of paper was included to write the questions down. Upon finalizing the questions on the first text, the question sheets were collected and the second text with still images was handed out. Time was limited to 15 min for each device.

In the DVD condition, the session took place in a computer lab in which each participant was assigned a personal computer. The instructions were handed out, read aloud, and explained to the students in this condition, in identical fashion as what was

carried out in the TIE condition. Then, the text of the first device (without the static images) was handed out, with the blank sheet of paper for students' questions. On each computer, the two files with the video-recordings of the operation of each device were previously installed. Each student could see the filming and read the text at his/her own pace. After collecting the questions of the first device, the second text was handed out and the second filming was seen under an identical procedure. Researchers controlled that each student should only see the corresponding device in each moment. The order of each device was also counterbalanced. The time was also limited to 15 min per device.

In the manipulation condition, LAB, the participants assigned to this condition were taken to the lab one by one, since data collection was individual. Before proceeding, they were given and read aloud the instruction sheet. After solving the participants' doubts, the first text and the blank sheet were handed to them so that they could write their questions down. Afterwards, each student was placed in front of the first device and one of the researchers operated the device a couple of times. While making the device work, the researcher orally narrated the same information written on the corresponding text and the student read it. Afterwards, the researcher invited the student to handle the artefact by himself/herself and to write his/her questions on the blank sheet. Complete freedom was given to the student for 15 minutes. After time was up, the sheet with the questions was taken up and everything proceeded in the same fashion with the second device. The order of presentation of the devices was balanced.

The questions formulated in writing by the students were classified according to the assumed taxonomy (Q1, Q2, Q3). To guarantee the validity of the procedure, a subset of 33% of the questions was classified by 2 of the researchers independently, and the inter-coder agreement was calculated computing the Cohen *Kappa*. A value of 0.72 was obtained and hence the agreement was not considered good enough. After a discussion and clarification session, another subset of 33% of the total amount of questions was considered and the same procedure was followed. This second time, the *Kappa* value reached 0.83 so we went ahead and reclassified the initial sub-group and classified the remaining 33% until we completed all of the questions asked. No more inter-coder disagreements were found.

3. Results and Discussion

A total amount of 2064 questions aimed at obtaining information on the devices were collected. This corresponds to a general average of more than 11 questions per subject, that is, more than 5.5 questions per subject and per device, which is a very high figure. Thus, the procedure stimulated students' information seeking questions.

The independent variables, i.e. the proportions over the total for each type of question and also the total amount of formulated questions (Qtot) were also distributed according to a normal curve (K-S: $p > .05$).

Table 2 shows the averages (and standard deviations) obtained in the two devices, for the proportions of each type of question in each experimental condition and educational level.

	Qtot	PropQ1	PropQ2	PropQ3	PropQsci
Secondary 10 th gr. (totals)	11.4 (3.6)	.16 (.16)	.56 (.20)	.27 (.19)	.25 (.18)
Static images (TIE)	9.4 (2.6)	.23 (.23)	.64 (.23)	.13 (.12)	.25 (.19)
Dynamic images	12.2 (3.6)	.14 (.11)	.53 (.19)	.33 (.19)	.25 (.18)
DVD	11.3 (4.0)	.11 (.12)	.47 (.18)	.42 (.17)	.18 (.14)
LAB	13.0 (3.1)	.16 (.10)	.58 (.19)	.26 (.17)	.31 (.19)
University (totals)	11.4 (3.3)	.17 (.14)	.56 (.21)	.28 (.21)	.42 (.22)
Static images (TIE)	11.5 (2.8)	.19 (.19)	.67 (.16)	.14 (.10)	.34 (.19)
Dynamic images	11.3 (3.5)	.16 (.12)	.52 (.21)	.32 (.22)	.45 (.23)
DVD	11.7 (3.7)	.15 (.12)	.44 (.19)	.41 (.20)	.29 (.14)
LAB	11.0 (3.3)	.17 (.12)	.58 (.21)	.25 (.20)	.61 (.19)
Both levels (totals)	11.4 (3.4)	.17 (.16)	.56 (.21)	.27 (.20)	.34 (.22)
Static images (TIE)	10.5 (2.9)	.21 (.21)	.65 (.19)	.13 (.11)	.29 (.19)
Dynamic images	11.8 (3.6)	.13 (.12)	.52 (.20)	.33 (.20)	.35 (.23)
DVD	11.5 (3.8)	.16 (.11)	.46 (.19)	.42 (.19)	.24 (.15)
LAB	12.0 (3.3)	.17 (.15)	.58 (.19)	.25 (.18)	.45 (.24)

Table 2: Mean values (and standard deviations) for each type of question in the experimental conditions and both academic levels. Both devices have been considered together.

Table 3 shows the most frequent students' questions and the most common scientific terms mentioned. Other important, but not mentioned scientific concepts are also included in Table 3.

Questions	Type
Questions which do not include physics terms	
-What are the dimensions of the double cone?	Q1
-Is there a bubble of air inside the cap?	Q1
-Why does the double cone go up?	Q2
-Why does the diver sink and then rise?	Q2
-What would happen if instead of a double cone, it were another figure?	Q3
-What would happen if we removed the bottle top?	Q3
-What would happen if the bottle were completely filled with water?	Q3
Questions which include physics term or parameters	
-What is the range of opening angles of the guides so that the cone goes up?	Q1
-What is the pressure inside the Cartesian diver?	Q1
-What forces act on the double cone?	Q1
-Is the opening angle of the guides related to the incline angle of these same guides?	Q2
-Does the speed with which the diver submerges depend on the strength we exert?	Q2
-Is the air pressure on the inside of the pen cap what makes it submerge?	Q3
-Would it go up at the same speed if the angle between the guides were greater?	Q3
-What would happen if the density of the water were different?	
Most common physics concepts in students' questions:	
Diver: Weight, Force, Pressure, Density, Speed	
Acrobat: Weight, Friction, Opening Angle, Incline Angle, Speed	
Important physics concepts which were not mentioned:	
Diver: Boyle and Mariotte's law (Pressure and Volume relationship in gases); Pascal's Principle; Newton's 2 nd Law	
Double-cone: Net Force; Normal Force; Rigid body; Torque.	

Table 3. The most frequent students' questions and the most common scientific concepts mentioned. Other important but not mentioned scientific concepts are also listed.

In order to contrast H1, we compared the static images condition (TIE) with the dynamic images conditions (DVD + LAB). The Student t-test was used for independent groups. When the homoscedasticity condition was not fulfilled according to the Levene's test, the degrees of freedom were corrected.

In order to contrast hypothesis H2 about the specific effects from manipulation -apart from the ones coming from watching real images-, the DVD and LAB conditions were compared to each other and the independent-groups t-test was also used.

Finally, in order to contrast H3, a 3X2 ANOVA was carried out taking the experimental condition (TIE/ DVD/ LAB) and the Educational Level (10th grade / university) as the two factors.

Table 4 shows the main data of the statistical analyses computed for the three hypotheses formulated.

		PropQ1	PropQ2	PropQ3
H1	Static vs Dynamic Images	t(62.5)=2.055 p= .044; η^2 = .04	t(179)= 3.994 p< .001; η^2 = .08	t(157.2)= -8.219 p< .001; η^2 = .19
H2	DVD vs LAB	t(128)= -1.658 p= .10	t(128)= -3.822 p< .001; η^2 = .10	t(128)= 4.974 p< .001; η^2 = .16
		PropQsci		
H3	Level: 10 th gr/Univ. Condition: TIE/DVD/LAB Interaction Level X Condition		F(1,175)= 38.620; p< .001; η^2 = .18 F(2,175)= 28.350; p< .001; η^2 = .25 F(2,175)= 6.667; p= .002; η^2 = .07	

Table 4: Statistical data for the analyses carried out to contrast the three hypotheses formulated. ‘t’ stands for the independent groups Student’s t-test; F is the Snedecor’s test in ANOVAs, p is the significance, and η^2 measures the effect size.

As predicted in H1, the static images condition (TIE) generated a higher proportion of Association-type questions than the dynamic images condition (DVD + LAB). Dunnet *post-hoc* analysis showed significant differences between the TIE and the DVD experimental conditions, but not between the TIE and the LAB conditions. The last result was due to the extra-amount of Association questions asking for particular values of the experimental setting parameters (for example: “What is the maximum angle for the slope so that the double cone can roll up?”), generated in the LAB condition.

As it can be seen in Table 4, there were significant differences between the LAB and the DVD conditions due to the possibility of the free manipulation of the devices. These differences only implied the proportions of Justification and Prediction questions, but not the proportion of Association questions.

In order to contrast H2, we studied whether the observed DVD/ LAB differences in Q2 and in Q3 were generated by the possibility of doing an immediate test for the conjectures in the LAB condition, but not in the DVD condition. Thus, the causal-type questions formulated after, and as a consequence of, manipulations, ($Q_{2\text{aftermanip}}$), were differentiated from the rest of the Q2 questions and scored separately in the LAB condition. Some examples of this kind of questions are: “Why cannot the double cone roll up now?” (after diminishing the guides ‘V-shape’ angle); “Why can the ball roll the slope up?”, (after using a ball instead of the double cone or the cylinder); “Why cannot the Cartesian diver float now?”, (after putting the cap inside the bottle upside down, and observing the cap sinking); “Why do I need less pressure when there is more water in the bottle?”, (after filling the bottle up with water, and squeezing the bottle to make the diver sink), etc.

Previous to each manipulation originating a new $Q_{2\text{aftermanip}}$ question, the subject has to generate a “What would happen if?” question. For example, after manipulating the Cartesian diver to take some water out of the bottle, a student asked the following question: “Why does the pressure exerted have to be greater when there is less volume of water in the bottle?”. This specific manipulation is originated by a previous, silent question similar to: “What would happen if less water was inside the bottle?”. Therefore, each explicit $Q_{2\text{aftermanip}}$ question has associated a silent, implicit Q3 question in the LAB condition.

Therefore, if we added $Q_{2\text{aftermanip}}$ to the amount of “What would happen if” Prediction questions, Q3, in the LAB condition, we would obtain a best estimation for the amount of the questions generated by the subjects, although not all explicit). This amount of Q3 questions should be compared to the quantity of Q3 in the DVD condition.

In a similar way, if we subtracted $Q_{2\text{aftermanip}}$ from the total amount of Explanation questions, Q2, in the LAB condition, we would obtain the amount of Explanation questions generated apart from the manipulations, $Q2 - Q_{2\text{aftermanip}}$ to be compared to the amount of Q2 generated in the DVD condition.

Table 5 shows these specific data:

	Q2 _{aftermanip}	Prop(Q2-Q2 _{aftermanip})	Prop(Q3+Q2 _{aftermanip})
LAB (both levels)	1.4 (1.5)	.46 (.18)	.37 (.19)
Secondary 10 th grade	1.8 (1.6)	.44 (.16)	.40 (.17)
University	0.9 (1.2)	.48 (.19)	.34 (.21)
DVD (both levels)	---	.45 (.19)	.41 (.19)
Secondary 10 th grade	---	.47 (.18)	.42 (.17)
University	---	.42 (.19)	.40 (.21)

Table 5: Questions formulated after manipulation and proportion of Explanation and Prediction questions when these questions are subtracted or added to the quantities Q2 and Q3, respectively. The proportions in the DVD condition are the same as the ones in Table 2.

The proportion of Explanation questions which were not asked as a consequence of manipulation in the LAB condition, $Q2-Q2_{aftermanip}$, was compared to the proportion of Q2 in the DVD condition. ANOVA showed that the previously found significant differences between the two conditions disappeared ($F < 1$). Neither was the academic level significant ($F < 1$), nor was interaction produced ($F < 1$). The proportion of $Q3+Q2_{aftermanip}$ was also compared with the proportion of Q3 in the DVD condition by means of ANOVA. The significant differences among conditions showed in Table 5, also disappeared for these variables ($F(1,126) = 1.588$; $p = .210$). In addition, the academic level did not produce significant differences ($F(1,126) = 1.228$; $p = .270$) and there was no significant interaction between both factors ($F < 1$). Therefore, the observed LAB/DVD differences in the proportion of Explanation questions were caused by $Q2_{aftermanip}$, and once removed, those differences disappeared. Similarly, when we accounted for the implicit, silent “What would happen if?” questions preceding each of the $Q2_{aftermanip}$ questions, the LAB/DVD differences in the proportion of Prediction questions also disappeared.

Finally, and concerning hypothesis H3 (see Table 5), the university students generated a higher proportion of questions including scientific terms, Q_{sci} , than the secondary students, and the LAB condition generated a higher proportion of Q_{sci} than the DVD and the TIE conditions (Dunnett: $p < .001$ in both comparisons). The DVD and the TIE conditions were not significantly different generating this kind of questions (Scheffé: $p = .27$). Moreover, there was a significant interaction effect because university students were particularly stimulated to ask scientific questions in the lab condition. In the LAB

condition, university students used more scientific laws to ask causal-type questions. Once they activated a scientific causal schema, they asked for particular values of some relevant parameters (or variables) so increasing the number of Association-type questions (for example: “What is the minimum pressure causing the ‘Cartesian diver’ to sink?”). Anyway, only 25% of the questions asked by Secondary students, and 42% in the case of University students included scientific terms. These results show the difficulties students had using the abstract concepts of science to model the reality, despite the fact they had studied advanced science courses.

4. Conclusions

There is a clear agreement that formulating hypotheses and knowing how to contrast them is essential for students’ scientific education, since it is one of the ways in which scientific knowledge is constructed and validated (Gil, 1986). However, not every teaching situation allows students to develop this competence. Inquiry learning is one of these situations which frequently use experimental devices to propose scholar research projects to students. In this paper we have explored the contribution of two components present in the use of experimental devices in lab to promote causal and hypothetical-deductive reasoning: a) the possibility of dream of the dynamics of the devices operating through time, and b) the possibility of handling the devices.

The results from the present study can be summarized as follows:

1) Compared to learning situations in which students read about experimental devices with the help of static images, the possibility of visualizing real devices (thus, dynamic images) stimulated in students significantly more “Why?” questions (medium size effect) and significantly more “What would happen if?” questions (large effect size). As expected according to Chandler and Sweller’s work (1991), the condition with static images seemed to demand more cognitive resources than the conditions of dynamic images to represent the phenomena through time. The possibility of visualizing the temporal development of a phenomenon seemed to release the working memory from the effort of adequately representing the entities (objects and events), which allowed these cognitive

resources to be dedicated to causal antecedents or consequents. As causal antecedents and causal consequents imply two or more entities, the ‘cause’ and the ‘consequent’, knowing these entities seem to be a prerequisite for looking for their relationship. Therefore, subjects ask Association questions before asking for Explanation of Prediction questions. If the representation of the entities is difficult, a working memory overload could inhibit asking for other, non-descriptive questions. Summing up, compared to the possibility of visualizing real devices operating along time, the text plus static images promotes the elaboration of more descriptive inferences, and inhibits predictive inferences in the construction of students’ mental representations.

2) Manipulating the devices helped students to advance through the ‘space of the problem’ (Newel and Simon, 1972) towards the goal (comprehending the device). This experimental situation allowed students to answer some hypothetical-deductive questions immediately, using a “manipulate-and-see-what-happens” strategy. After handling, and as a consequence of it, new causal questions were generated which, in time, could open a way to new conjectures and ways of handling. These extra causal questions produced significant differences in the distribution of the questions between the manipulating condition and the only-watching condition (with medium and large effect sizes). The reason is that they cannot be generated in the only-watching condition (DVD condition in our experiment) because students cannot check their hypothetical conjectures but only ask hypothetical-deductive “What would happen if?” questions. Thus, if freedom of action is allowed to vary the set-up of the devices, the learning activities could simulate a scientific research project fostering more causal questioning, and deep comprehension of science phenomena. Our data have shown that inquiry learning in Lab stimulates the hypothetical-deductive questions in a similar way than lecture demonstrations, but generates more causal “Why?” questions. Therefore, the research projects in lab generate more questions addressed to causality (to causal antecedents and consequents), which could gain specific importance as “research questions,” that is, questions that initiate learning processes in the science classroom.

3) High knowledge students attempted to modelling reality using science more than low knowledge students as expected (the observed effect size was large), but again more science knowledge was activated and used when students had the possibility of

manipulating the devices. However, students used scientific knowledge in a poor way, usually alone in a sentence. They scarcely included full scientific ideas involving scientific modelling in their questions. For example, a question as: “What would be the relation between the three angles so that the centre of mass of the double cone went down while rolling up the slope?” was never asked, nor was the next question: “What factor is creating the Archimedes buoyant force acting on the Cartesian diver”? Similar difficulties were found by Olsher and Dreyfus (1999) in junior high-school students, long time ago. Recently, Truyol and Gangoso (2012) obtained the same result in university physics students: it was hard for them to successfully solve physics problems when the physics model was not explicit in the problem statement (so it had to be elaborated by the solvers). These findings and ours show that scientific modelling is hard to perform even for students in advanced science courses.

5. References

- Anderson, R.D. (2002). Reforming science teaching: What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13 (1), 1-12.
- Barolli, E., Laburú, C.E. y Guridi, V.M. (2010). Laboratorio didáctico de ciencias: caminos de investigación. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 88-110.
- Barsalou, L.W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617–645.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Chin, C. & Brown, D.A. (2002). Students-generated questions: A meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24 (5), 521-549.
- Chin, C. & Chia, L.G. (2004). Problem-based learning: using students’ questions to drive knowledge construction. *Science Education*, 88, 707-727.
- Chin, C. & Osborne, J. (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1-39.

- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education* 86, 175–218.
- Costa, J., Caldeira, M.H., Gallástegui, & Otero, J. (2000). An analysis of question asking on scientific texts explaining natural phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 602-614.
- Craig, S. D., Gholson, B., Ventura, M., Graesser, A. C., & the Tutoring Research Group. (2000). Overhearing dialogues and monologues in virtual tutoring sessions: Effects on questioning and vicarious learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11, 242–253.
- Cuccio-Schirripa, S. & Steiner, H.E. (2000). Enhancement and analysis of science question level for middle school students. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 210-224.
- Dillon, J.T. (1990). *The Practice of Questioning*. New York: Routledge.
- Flammer, A. (1981). Towards a theory of question asking. *Psychological Research*, 43, 407–420.
- Gil, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 111-121.
- Gil, D. y Valdés, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), 155-163.
- Gil, D. y Payá, J. (1998). *Revista de Enseñanza de la Física*, 2, 73-
- Graesser, A. C., & Bertus, E. L. (1998). The construction of causal inferences while reading expository texts on science and technology. *Scientific Studies of Reading*, 2(3), 247-269.
- Graesser, A.C., & Olde, B.A. (2003). How does one know whether a person understand a device? The quality of the questions the person asks when the device breaks down. *Journal of Educational Psychology*, 95, 524-536.
- Graesser, A. C., & Person, N. K. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal*, 31, 104–137.

- Graesser, A. C., & Zwaan, R. A. (1995). Inference generation and the construction of situation models. In C. A. Weaver, S. Mannes, & C. R. Fletcher (Eds.), *Discourse comprehension: Strategies and processing revisited. Essays in honor of Walter Kintsch* (pp. 117-139). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Greeno, J.G. (1989). Situations, Mental Models, and Generative Knowledge, en Klahr, D. y Kotovsky, K. (eds.). *Complex Information Processing: The Impact of Herbert Simon*, (pp. 285-318) Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ,.
- Gunstone, R. & Mitchell, I.J. (1998). Metacognition and conceptual change. In J.L.Mintzes, J.H. Wandersee, & J.D. Noval (Eds.), *Teaching for science education: A human constructivist view* (pp. 133-163). San Diego, CA: Academic Press.
- Harper, K.A. Etkina, E., and Lin, Y. (2003). Encouraging and analyzing students' questions in a large physics course: Meaningful patterns for instructors. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (8), 776-791.
- Hartford, F., & Good, R. (1982). Training chemistry students to ask research questions. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 559-570.
- Höffler, T.N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction* 17, 722-738.
- Hofstein A. & Lunetta V.N. (2004). The laboratory in science education: foundation for the 21st century. *Science Education*, 88, 28-54.
- Ishiwa, K., Sanjosé, V. & Otero, J. (2012). Questioning and reading goals: Information-seeking questions asked on scientific texts read under different task conditions. Accepted for publication in *British Journal of Educational Psychology*.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. Cambridge University Press, Cambridge UK.
- Kintsch, W. & J.G. Greeno (1985). Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review*, 92(1), 109-129.

- Lederman, N. (1999). Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice: Factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (8), 916 - 929.
- Millis, K., & Graesser, A. (1994). The time-course of constructing knowledge-based inferences for scientific texts. *Journal of Memory and Language*, 33, 583-599.
- 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, 357–364.
- Nelson, T.O., & Narens, L. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. In G.H. Bower (Ed). *The Psychology of Learning and Motivation*, 26, (pp. 125-173). New York: Academic Press
- Novak, J.D. (1979). The reception learning paradigm. *Journal of Research in Science Teaching*, 16 (6), 481-488.
- Olsher, G., and Dreyfus, A. (1999). Biotechnologies as a context for enhancing junior high-school students' ability to ask meaningful questions about abstract biological processes. *International Journal of Science Education*, 19, 781-799.
- Otero, J. & Campanario J.M. (1990). Comprehension evaluation and regulation in learning from science texts. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, 5, 447-460.
- 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.
- Otero, J., & Graesser, A. C. (2001). PREG: Elements of a model of question asking. *Cognition and Instruction*, 19, 143–175.
- Pfeiffer, V.D.I., Scheiter K., Kühl T., and Gemballa, S. (2011). Learning How to Identify Species in a Situated Learning Scenario: Using Dynamic-Static Visualizations to Prepare Students for Their Visit to The Aquarium. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 7(2), 135-147.

- Ram, A. (1991). A Theory of Questions and Question Asking. *The Journal of the Learning Sciences, 1*, 273-318.
- Rosenshine, B., Meister, C., & Chapman, S. (1996). Teaching students to generate questions: A review of the intervention studies. *Review of Educational Research, 66*, 181–221.
- Sanjosé, V., Torres, T. & Soto, C. (2012). Effects of scientific information format on the comprehension self-monitoring processes: question generation. Pendiente de revisión en *Revista de Psicodidáctica*.
- Scardamalia, M. & Bereiter, C. (1992). Text-based and Knowledge-based questioning by children. *Cognition and Instruction, 9*, 177-199.
- Schraw, G.; Crippen, K.J. and Hartley, K. (2006). Promoting Self-Regulation in Science Education: Metacognition as Part of a Broader Perspective on Learning. *Research in Science Education, 36*, 111-139.
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 49-69). Cambridge: Cambridge University Press.
- Several Authors. (2012). *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 8* (1). Special Issue: Practical Work.
- Singer, M., & Gagnon, N. (1999). Detecting causal inconsistencies in scientific text. In S. R. Golman, A. Graesser, & P. van den Broek (Eds.), *Narrative comprehension, causality, and coherence: Essays in honor of Tom Trabasso* (pp. 179-194). Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Solaz-Portolés, J.J. (2012). Sobre cómo el conocimiento científico intenta aproximarse a la realidad. *Revista Brasileira de Ensino de Física (online)*, 34 (1), 1308 (1-5). En: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n1/v34n1a08.pdf>

- Torres, T., Duque, K.J., Ishiwa, K., Sánchez, G., Solaz-Portolés, J.J. y Sanjosé, V. (2012). Preguntas de los estudiantes de educación secundaria ante dispositivos experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 30 (1), 39-60.
- Trabasso, T. & Magliano, J.P. (1996). Conscious Understanding during Comprehension. *Discourse Processes*, 21, 255-287.
- Trumper, R. (2003). The physics laboratory – a historical overview and future perspectives. *Science and Education*, 12, 645-670.
- Truyol, M.E.; Gangoso, Z. (2012). Caracterización del proceso de resolución de problemas: el caso de los estudiantes. 97th Reunión Nacional de la Asociación Física Argentina. Córdoba, Septiembre de 2012.
- Truyol, M.E.; Gangoso, Z.; Sanjosé, V. (2012). Modelling in physics: a matter of experience? Accepted for publication in *Latin-American Journal of Physics Education*.
- Van der Meij, H. (1994). Student Questioning: A Componential Analysis. *Learning and Individual Differences*, 6, 137-16.
- Wang, M.C.; Haertel, G.D.; Walberg, H.J. (1993). Toward a knowledge base for school learning. *Review of Educational Research*, 63 (3), 249–294.
- Watts, M., Gould, G., & Alsop, S. (1997). Questions of understanding: categorising pupils, questions in science. *School Science Review*, 79(286), 57-63.
- Wiley, J., & Myers, J. L. (2003). Availability and accessibility of information and causal inferences from scientific text. *Discourse Processes*, 36, 109-129.
- Windschitl, M. (2002). Inquiry projects in science teacher education: what can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87 (1), 112-143.
- Zwaan, R. A. (2004). The immersed experiencer: Toward an embodied theory of language comprehension. In B. H. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp 35-62). York: Academic Press.

Newel, A. & Simon, H.A. (1972). Human Problem Solving. Englewood Cliffs, N.J.:
Prentice-Hall.

Websites (2012). 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>;

6. Appendix I: Experimental devices used

THE CARTESIAN DIVER

In a flexible covered bottle, a volume of liquid is to be found in such a way that it does not totally fill it. In this liquid, the Cartesian diver is found, made in the following way: plasticine is placed on a pen cap as a counterweight and is fixed with wire to the cap. The diver is placed in such a way that it floats vertically, doing so carefully so that this way an air bubble is formed inside, between the upper part of the cap and the surface of the water.

The diver ascends or descends depending on the relation between its weight and the buoyant force. Upon squeezing the bottle by hand, the pressure inside is increased: in the liquid, which is diffused in its cavity due to the Pascal principle, and in the air. This makes the volume of the air bubble decrease inside the pen cap (the Boyle and Mariotte law:

$PV = nRT$; As $T = \text{constant}$, $PV = \text{constant}$.

If $P_{2b} > P_{1b}$, then $V_{2b} < V_{1b}$.

Upon diminishing the interior volume of the diver, the buoyant force diminishes (it diminishes the volume of water displaced by the air bubble). If the increase in pressure inside the bottle is such that the buoyant force on the diver is less than its weight, the diver will sink. By releasing the bottle, the pressure inside decreases so increasing the volume of the air bubble inside the pen cap. Therefore the buoyant force increases making the diver rise again to the surface.

THE CLIMBING ACROBAT (the double cone)

This consists of a double cone and two straight circular-section guides, which constitute a ramp by which the double cone moves. The guides can vary the opening angle between them in such a way that they can be parallel or adopt a “V” form. When the guides are parallel, the double cone descends by the ramp, as expected. But if the guides form a “V” with the vertex below, the double cone rolls towards the high part of the ramp without help. When the guides are in a “V”, with the vertex in the low part of the ramp, the guides separate from one another to the degree that the cone goes up the ramp. This implies that the double cone “sinks” more and more between them. That is, to the degree that the double cone rolls up, on one hand, its CM gets higher due to the ramp, and on the other hand, it loses height by sinking between the two guides in the “V” form. If the second effect is greater than the first, the movement will be spontaneous, for the CM, globally, will descend to the degree that the apparatus rolls toward the high part of the ramp. That is, the double cone will move in such a way that its energy potential decreases. This is the condition which is fulfilled in the device. The condition can be expressed in geometric terms from the 3 angles implied: the angle of the ramp’s incline (α), half of the angle of the opening of the guides (β), and half of the cone’s own angle (γ).

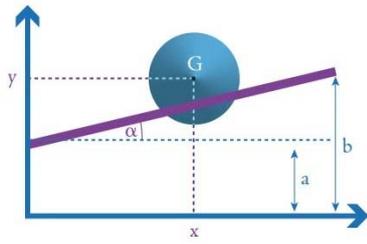


Figure 1A)Acrobat as seen from side

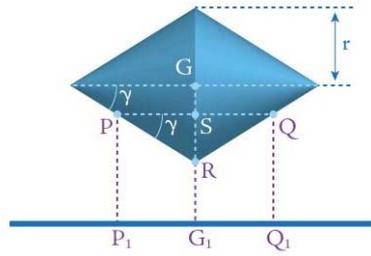


Figure 1B)Double cone as seen from front

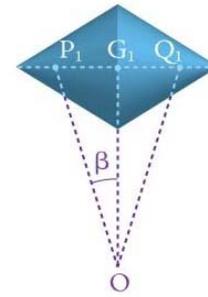


Figure 1C)Double cone as seen from bottom

Source: Defying gravity: The uphill roller, J. Havil,

<http://plus.maths.org/content/os/issue40/features/uphill/index>, visited on 2/6/2012)

Situating the double cone in the lowest part of the ramp (on the vertex of the “V” formed by the two guides which constitute the ramp), to the degree that the double cone rolls toward the high part of the ramp, the height gained by the CM, $y = \mathbf{b} - \mathbf{a}$ (Figure 1A), it is the subtraction between what ascends the ramp vertically, \mathbf{h} , and what has sunken the double cone between the guides, \mathbf{a} : $y = \mathbf{h} - \mathbf{SR}$ (see Figure 1B). The horizontal and vertical run of the double cone is related to the angle of the ramp: $\tan(\alpha) = \mathbf{h}/\mathbf{x}$ (Figure 1A); from which $\mathbf{h} = \mathbf{x} \tan(\alpha)$. In addition, due to the sinking of the double cone, the CM (in the geometric center of the figure) descends a height $\mathbf{SR} = \mathbf{PS} \tan(\gamma)$, being $\mathbf{PS} = \mathbf{PQ}/2$ the distance of horizontal separation between the guides in the point in which the double cone is found supported (Figure 1B). But $\tan(\beta) = \mathbf{P}_1\mathbf{Q}_1/2\mathbf{x} = \mathbf{PQ}/2\mathbf{x} = \mathbf{PS}/\mathbf{x}$ (Figure 1C). Therefore, $\mathbf{SR} = \mathbf{x} \tan(\beta) \tan(\gamma)$.

Since $\mathbf{h} = \mathbf{y} - \mathbf{SR}$, we have $\mathbf{h} = \mathbf{y} - \mathbf{SR} = \mathbf{x} \tan(\alpha) - \mathbf{x} \tan(\beta) \tan(\gamma) = \mathbf{x} (\tan(\alpha) - \tan(\beta) \tan(\gamma))$. So that there may be spontaneous movement, $\mathbf{h} < 0$, that is, $\tan(\mathbf{a}) < \tan(\mathbf{b}) \tan(\mathbf{g})$ should be demanded, which is the design condition of the device so that it may work in the desired way.

7. Appendix II: One of the texts used in the experiment, and one of the static images with it.

(The structural parts of the text have been added in parenthesis).

The ‘Climbing Acrobat’

We know that a round object rolls downward on an inclined plane. It cannot move upwards unless it has a motor or something that pushes it. (*Activation of a pre-existent explicative scheme*)

The ‘climbing acrobat’ consists of a double cone -two cones united by their bases-, and an inclined plane formed by two upright bars which are used as guides. If the two bars which form the ramp parallel-wise are set in place, and then the double cone is situated on top of them, the object rolls towards the low part of the ramp, as is expected. (*Presentation of an event expected according to the previously explicative scheme*)

However, when the two bars which form the ramp are placed in the “V” form with their vertex in the low part of the ramp, the double cone rolls and moves towards the high part of the ramp without help! (*Introduction of the ‘dissenting event’ to provoke perplexity*)

The acrobat rolls toward the high part of the slope formed by the guides in “V” form

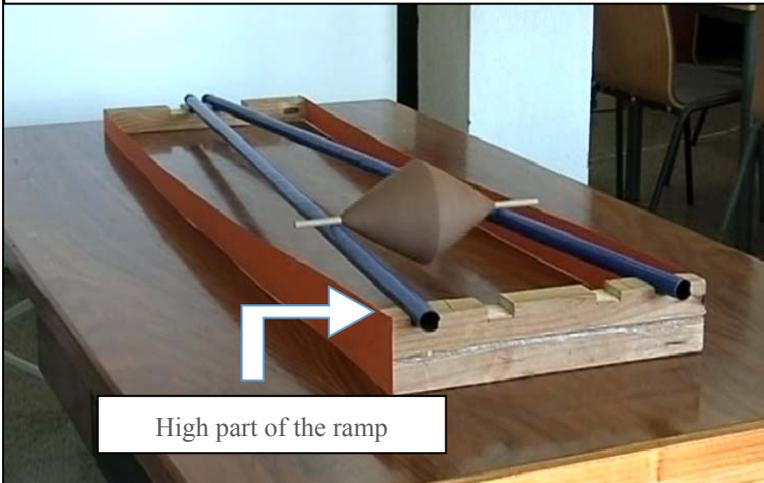


Figure 2. One of the still images for the “climbing acrobat” text.

CAPÍTULO 9

Contenido Científico de las Preguntas de los Estudiantes sobre Dispositivos Experimentales

Referencia:

Torres, T.; Milicic, B. y Sanjosé, V. (2013). Un estudio del contenido científico de las preguntas formuladas por estudiantes cuando intentan comprender dispositivos experimentales. Aceptado para su publicación en la revista *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 27.

Título:

Un estudio del contenido científico de las preguntas formuladas por estudiantes cuando intentan comprender dispositivos experimentales

Resumen:

Se muestra un análisis descriptivo del contenido científico de las preguntas formuladas por estudiantes de secundaria y universitarios, cuando tratan de comprender el funcionamiento de dispositivos experimentales. Se consideran tres situaciones didácticas habituales: leer un texto acompañado de imágenes estáticas (esquemáticas); visualizar imágenes dinámicas (video o demostración de cátedra), observar y manipular los dispositivos. Solo una tercera parte de las preguntas de los estudiantes contuvieron algún término científico, aunque los universitarios superaron claramente a los de secundaria. Las leyes y principios científicos, necesarios para modelizar y explicar la realidad, apenas fueron mencionadas por porcentajes muy pequeños de estudiantes, incluso universitarios. Así mismo, se encontraron errores conceptuales e ideas animistas preocupantes. La condición observar y manipular, típica de laboratorios escolares y de museos interactivos, estimuló mayor proporción de preguntas y mayor variedad en el uso de términos científicos en los estudiantes.

Palabras clave: Enseñanza de las ciencias, formulación de preguntas, dispositivos experimentales, uso de conceptos científicos.

Abstract:

A descriptive analysis on the scientific content in student's questions on experimental devices is developed. Secondary and university students were faced with experimental devices and tried to understand them. Three different but usual teaching conditions were considered: reading a text with still images, watching dynamic images as in video or teacher demonstrations, and watching and handling the devices. Only the third part of the

asked questions mentioned at least one scientific term, although university students over performed secondary students. Scientific laws and principles were scarcely mentioned, although they are necessary to build a scientific model from reality. Some worrying ideas containing conceptual errors and animistic ideas were also found, even among university students. Handling the devices, as usual in laboratory setting and interactive museums, stimulated more questions and a higher variety of scientific terms used in students' questions.

Keywords: Science teaching, question generation, experimental devices, use of scientific concepts

1. Introducción

Los dispositivos experimentales se usan en la educación científica en formas distintas (Trumper, 2003; Holstein y Lunetta, 2004; Barolli, Luburú y Guridi, 2010 y referencias que contiene). Esta diversidad es debida, entre otros factores, a la variedad de concepciones que los profesores tienen sobre qué es la ciencia y qué significa enseñar ciencia (Lederman, 1999). De hecho, los estudiantes se encuentran con dispositivos experimentales en tres formas básicas a lo largo de sus estudios: a) textos descriptivos que están acompañados de imágenes más o menos esquemáticas; b) demostraciones de cátedra en las que el alumno debe observar sin poder manipular los dispositivos; c) proyectos experimentales en los que el alumno debe manipular físicamente los dispositivos.

Algunos modelos didácticos, como *inquiry teaching* (Anderson, 2002) o *aprendiz como científico novato* (Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., Furio, C. y Mtnez-Torregrosa, 1991), o el *Aprendizaje Basado en Problemas* aplicado a las ciencias (Solaz-Portolés, Sanjosé y Gómez, 2011) proponen la realización de proyectos experimentales en los que los estudiantes puedan manipular libremente dispositivos experimentales para generar y desarrollar competencias científicas. Este trabajo práctico aporta beneficios educativos. En primer lugar, el trabajo práctico facilita modelar la realidad a partir de la ciencia (Truyol y Gangoso, 2012). En segundo lugar, el trabajo experimental permite el desarrollo de competencias procedimentales tal como técnicas de medida, control de variables y relacionar los valores numéricos obtenidos con el mundo real. En tercer lugar, las situaciones experimentales en el laboratorio escolar pueden usarse para situar a los estudiantes tan cerca como sea posible del trabajo de los científicos (Chinn y Malhotra, 2002).

La investigación científica comienza con “una buena pregunta”. De hecho, los profesores coinciden en el potencial de las preguntas de los estudiantes en el aprendizaje de las ciencias (Chin y Osborne, 2008). En correspondencia, las preguntas de los estudiantes en educación científica han sido estudiadas desde diferentes perspectivas, didáctica, epistemológica, cognitiva, procedimental, etc. Han sido clasificadas a partir de distintos

criterios (Scardamalia y Bereiter, 1992; Watts, Gould, y Alsop, 1997; Chin y Chia, 2004), se ha analizado su calidad (Graesser y Person, 1994), y han sido relacionadas explícitamente con la comprensión del contenido (Chin, Brown y Bruce, 2002; Harper, Etkina y Lin, 2003).

Las preguntas que se formulan ante dispositivos experimentales también se han investigado. Estudiantes instruidos en situaciones de indagación aprenden a preguntar más y mejores preguntas que estudiantes en otras situaciones de aprendizaje (Hartford y Good, 1982; Cuccio-Schirripa y Steiner, 2000). Graesser y Olde (2003) investigaron el rol del conocimiento previo en la generación de preguntas. Sujetos con diferentes niveles de experiencia se enfrentaron a dispositivos estropeados. Se les pidió que formularan preguntas de modo que sus respuestas les proporcionaran la información necesaria para repararlos. Graesser y Olde encontraron que los sujetos con mayor nivel de experiencia (conocimiento específico) formularon mayor número de preguntas apropiadas para reparar los dispositivos.

El presente trabajo se dedica, desde un punto de vista descriptivo, a explorar el contenido científico de las preguntas dirigidas a obtener información para comprender los dispositivos. Se analizarán los conceptos e ideas científicas que se constituyen en obstáculo para los estudiantes y que originan sus preguntas, diferenciando entre ideas correctas e ideas inadecuadas o erróneas. Así mismo se estudiarán las posibles diferencias en el contenido de las preguntas debidas al conocimiento previo menor o mayor, es decir entre estudiantes de secundaria y de universidad que estudian física o ingeniería. Se consideraran 3 situaciones en las que con mayor frecuencia los estudiantes se enfrentan a información sobre dispositivos experimentales: a) observar imágenes estáticas, esquemáticas, (condición ‘OIE’ en adelante) junto con la descripción en texto de los dispositivos; b) observar el funcionamiento de los dispositivos en imágenes dinámicas de video (‘OID’ en adelante); c) observar y manipular los dispositivos en el laboratorio (‘OyM’ en adelante).

En estudios recientes (Sanjosé, Torres y Soto, 2012; Torres, Milicic, Soto y Sanjosé, 2012) se ha analizado el modo en que los formatos de presentación de la información sobre dispositivos científicos, afectaba la generación de preguntas en estudiantes de secundaria y universidad. Leer textos con imágenes estáticas sobre dispositivos, Visualizar el

funcionamiento de un DVD o manipular dispositivos reales en el laboratorio, causó diferencias en la distribución del tipo de preguntas formuladas por los estudiantes.

2. Método

2.1. Participantes

La muestra estuvo constituida por alumnos de ambos sexos, 278 de secundaria colombianos (11° curso, último antes de la universidad) y españoles (4 ESO o 10° curso, y 2 Bachiller o 12° curso) que estudiaban Física, y 165 universitarios de pregrado en carreras de física (colombianos y españoles) e ingeniería mecánica (colombianos). El experimento se realizó cuando los temas pertinentes para explicar los dispositivos, habían sido ya estudiados en todos los cursos. La distribución de los sujetos en cada condición experimental se hizo asignando grupos naturales al azar a cada una. Los grupos fueron equivalentes a priori. La Figura 1 muestra esa distribución.

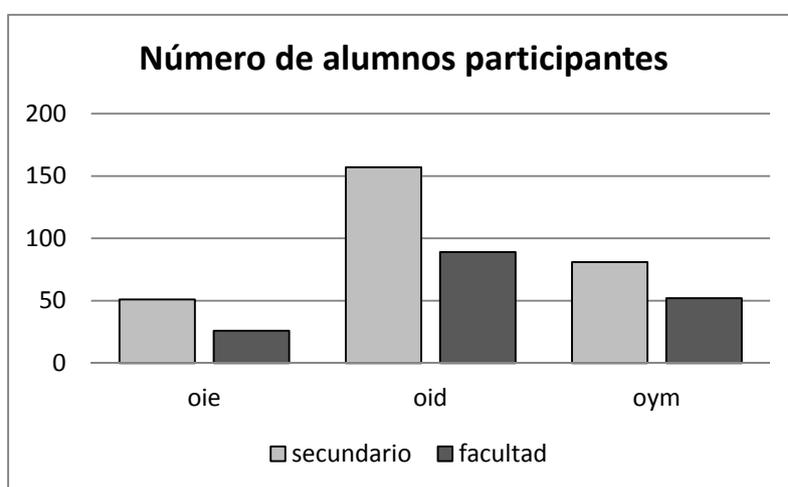


Figura 1.- Distribución de los participantes por nivel académico y condición experimental.

2.2. Materiales

Se utilizaron 2 dispositivos mecánicos: un *Doble Cono* capaz de rodar por sí mismo hacia la parte superior de un plano inclinado formado por dos guías dispuestas en forma de

“V” con el vértice en la parte baja, y el *Diablillo Cartesiano* o *Ludión*. La explicación científica de su funcionamiento puede obtenerse de fuentes especializadas (Websites, 2012).

Siguiendo la recomendación de Dillon (1988), los obstáculos de comprensión y, por tanto, las preguntas, se suscitaron al provocar perplejidad en los estudiantes. Ambos dispositivos muestran un comportamiento discrepante con lo esperado: el ‘ascenso’ del doble cono por el plano inclinado sin ayuda, y el ascenso a la superficie del diablillo tras haberse hundido.

Se elaboraron sendos textos para suministrar la misma información lingüística a todos los participantes en las 3 condiciones experimentales consideradas. La tabla 3 muestra esos textos y su estructura.

Segmento	Un acróbata trepador	El diablillo cartesiano
<i>Activación del modelo mental</i>	Sabemos que un objeto redondo rueda hacia abajo sobre un plano inclinado, si no se le empuja o tiene motor.	Sabemos que cuando un objeto se hunde, no suele regresar a la superficie sin ayuda, excepto los submarinos.
<i>Descripción del dispositivo.</i> <i>Acuerdo con el modelo mental activado.</i>	El ‘acróbata trepador’ consiste en un doble cono (dos conos unidos por su base) y en un plano inclinado formado por dos guías rectas. Si se disponen las guías en paralelo y se deposita el doble cono sobre ellas, el objeto rueda hacia abajo como se espera.	El ‘diablillo cartesiano’ consiste en una tapa de bolígrafo con un trocito de plastilina pegado en su pestaña, dentro de una botella de plástico casi llena de agua con su tapón. Si se deja flotando la tapa de bolígrafo en la botella cerrada y se aprieta la botella, el ‘diablillo’ se hunde como se espera.
<i>Violación de expectativas.</i> <i>Perplejidad.</i>	Sin embargo, si se abre el ángulo de las guías para que sean convergentes, ¡el ‘acróbata’ rueda hacia arriba por la rampa sin ayuda!	Sin embargo, si se deja de apretar la botella, el ‘diablillo’ ¡vuelve a subir a la superficie sin ayuda!
	<i>Escribe tus preguntas aquí (las que realmente necesites para explicar este dispositivo a otro/a compañero/a que no lo haya visto)</i>	<i>Escribe tus preguntas aquí (las que realmente necesites para explicar este dispositivo a otro/a compañero/a que no lo haya visto)</i>

Tabla 3.- Textos empleados para suministrar la información lingüística sobre los dispositivos en las tres condiciones experimentales consideradas.

En la condición experimental OID, se elaboraron sendos archivos de video para ser visionados en un ordenador. Los dispositivos se montaron en un lugar adecuado y se procedió a filmar el funcionamiento completo de cada dispositivo. La grabación fue

realizada por un técnico especializado con un equipo profesional. Se tomaron varios planos con diferente perspectiva para facilitar la comprensión del funcionamiento de los dispositivos. La duración de los archivos fue de 5:00 min (acróbata) 4:30 min (diablillo).

En la condición OyM (en el laboratorio) los dispositivos se instalaron físicamente en lugares apropiados de los laboratorios de cada centro educativo.

En la condición OIE, cada uno de los textos se acompañó con 3 imágenes estáticas, una por cada segmento del texto, a las que se añadieron rótulos y flechas para indicar sentido de movimiento, de giro, etc. como es típico en los libros de texto. Para evitar introducir diferencias entre condiciones, las imágenes se tomaron directamente de los vídeos elaborados para la condición OID y, por tanto, adquirieron el aspecto de fotografías. Con ello, el realismo de las imágenes quedó igualado entre condiciones.

2.3. Variables y Medidas

Los factores independientes fueron la condición experimental (OIE/ OID/ OyM) y el nivel educativo (Secundaria/ Universidad). En algunos análisis, las condiciones experimentales fueron estudiadas de acuerdo con sus dos factores diferenciales: el carácter estático/ dinámico de las imágenes que acompañan a los textos; b) la posibilidad de sólo observar/ observar y manipular los dispositivos.

En cada condición experimental y en cada nivel educativo se contabilizó el número de preguntas formuladas por cada estudiante, destinadas a comprender los dispositivos y se calcularon promedios y proporciones. Estas preguntas se clasificaron según una taxonomía ya utilizada en este tipo de estudios (Torres et al., 2012). Después, y de un modo detallado, se estudió el contenido de esas preguntas diferenciando aquellas que contuvieran términos científicos (conceptos, leyes, principios), factores causales no científicos (como materiales, formas, tamaños, ángulos, etc.), ideas científicas completas correctas e ideas erróneas.

2.4. Procedimiento

En todo el proceso se respetó un protocolo ético. Profesores, padres y estudiantes fueron informados antes de la toma de datos para asegurar su consentimiento y participación voluntaria. Los investigadores se comprometieron a respetar la confidencialidad de los datos en todo momento.

Se siguió un procedimiento específico para asegurar que los estudiantes formularan las preguntas que realmente necesitaran para comprender los dispositivos (Ishiwa et al. 2012; Torres et al. 2012). Para ello, se proporcionó a los estudiantes una meta para la tarea: comprender para explicar después los dispositivos a otro compañero/a que no los habría leído/observado antes. Las preguntas que formularan en la sesión presente serían contestadas antes de tener que realizar la explicación. La calidad de la explicación sería evaluada. Al final de la toma de datos, se informó a los estudiantes de que la segunda sesión no tendría lugar por ser innecesaria, y se respondieron las preguntas de los estudiantes.

En la condición OIE la toma de datos tuvo lugar en el aula habitual de los estudiantes. En la condición OID, se llevó a los participantes a un aula de informática para que cada uno dispusiera de un ordenador personal con los archivos de video instalados. En ambas condiciones, un investigador repartió las instrucciones a los estudiantes y las leyó en voz alta. Tras clarificar las dudas, el material del primer dispositivo (un texto con imágenes estáticas en OIE o sin ellas en OID) con el espacio para escribir las preguntas, fue repartido. El orden de los textos fue contrabalanceado. Los estudiantes de la condición OID fueron instruidos para visionar el correspondiente archivo de video libremente tras leer el texto. Tras recoger las hojas con las preguntas, se repartió el segundo texto y se siguió el mismo procedimiento.

En la condición OyM, los participantes fueron conducidos al laboratorio escolar uno a uno. El estudiante leyó con el investigador las instrucciones y se aclararon sus dudas. Luego se le repartió el primer texto (sin las imágenes estáticas) con el espacio para escribir las preguntas y, tras leerlo, el investigador hizo funcionar el primer dispositivo dos veces, mientras narraba oralmente exactamente la misma información contenida en el texto y ya

leída por el estudiante. Después, el estudiante fue invitado a manipular libremente el dispositivo y a escribir cuantas preguntas necesitara. Una vez recogidas las preguntas, se procedió de idéntica forma con el segundo dispositivo. El orden de presentación de los dispositivos a los sucesivos participantes fue contrabalanceado.

En las tres condiciones se avisó a los participantes al comienzo que el tiempo dedicado a cada dispositivo (análisis y preguntas) estaba limitado a 15 minutos.

3. Resultados y Discusión

Sobre el diablillo cartesiano, los estudiantes de secundaria participantes realizaron un total de 1140 preguntas y los universitarios un total de 960, lo que corresponde a promedios de 4,1 preguntas por estudiante secundario y 5,8 por estudiante universitario. Sobre el acróbata trepador (doble cono) los estudiantes secundarios realizaron un total de 1061 preguntas y los estudiantes universitarios un total de 937, lo que corresponde a promedios de 3,8 y 5,7 respectivamente.

Se pueden diferenciar tipologías distintas de preguntas:

- Conocer mejor las entidades presentes. Por ejemplo: “¿ahora le cuesta más bajar, no?” “¿cuánto pesa la plastilina?”; “¿por qué sube la rampa?”, “¿cuál es el ángulo de los conos?”
- Explicar por qué las cosas son como son: “¿el peso del diablillo es lo que hace que se hunda?” ; “¿Por qué sube el diablillo (tras hundirse)?”; Incluso explicar adelantando hipótesis causales: “¿lo que causa que vuela a subir el diablillo es la disminución de presión que ocurre en el seno del líquido al soltar la botella?”, “¿Acaso queda una burbuja de aire dentro de la tapa del boli y eso le ayuda a flotar?”; “¿será que el ángulo de apertura tiene algo que ver para que suba?”; “¿Se ejerce una fuerza por parte de las guías al cambiar el ángulo y esto hace que el dispositivo suba?”
- Predecir eventos no observados que sucederían en condiciones ligeramente distintas a las presentes: “¿qué pasaría si la botella estuviera destapada?”; “¿qué

pasaría si la botella estuviera totalmente llena de agua?”; “Si la pendiente de la rampa fuera de 45° el acróbata no subiría, ¿verdad?”

3.1. Preguntas sobre el Diablillo Cartesiano o Ludión

A pesar del alto promedio de preguntas por estudiante, las preguntas con algún contenido científico no son abundantes. La mayor parte de las preguntas no incluyen ningún concepto científico, ni ley, etc., sino que se formulan utilizando lenguaje ordinario. Las Tablas 1 y 2 muestran respectivamente, las preguntas más frecuentes que usan sólo lenguaje ordinario, o incluyen al menos un término científico.

Preguntas

- ¿Por qué se hunde?
 - ¿Por qué, cuando se deja de apretar la botella, vuelve a subir?
 - ¿Para qué es el trocito de plastilina?
 - ¿Qué pasa si no tapo la botella?
 - ¿Qué pasa si pongo aceite en vez de agua en la botella?
 - ¿Por qué baja tan rápido?
 - ¿Por qué la botella no está totalmente llena con agua?
-

Tabla 1: Preguntas frecuentes que se formulan empleando lenguaje ordinario

Preguntas

- ¿Baja por la presión?
 - ¿Si el líquido fuera más denso también subiría?
 - ¿Cuáles son las fuerzas que actúan para que el diablillo se hunda?
 - ¿Es por la fuerza aplicada que baja y sube el diablillo?
 - ¿Puede ser que el peso influya para que el diablillo baje y suba?
 - ¿La única restricción es que la presión total dentro del recipiente sea variable?
-

Tabla 2.- Preguntas más frecuentes sobre el diablillo cartesiano que incluyen términos científicos.

En el contexto de la educación científica, interesa estudiar, precisamente, este tipo de preguntas, cuyo origen está en el intento de los estudiantes, no logrado, de construir una representación mental abstracta, científica, de la información suministrada (Greeno, 1989).

Globalmente, el porcentaje de preguntas que mencionan al menos un término científico, sea concepto, ley o principio, es de un 30% aproximadamente, tal como se deduce de la Figura 1. Sin embargo, y tal como se espera, los estudiantes universitarios formularon el doble de preguntas con términos científicos que los estudiantes de

secundaria. Respecto de las tres condiciones experimentales, no se observan grandes diferencias entre ellas en cada nivel educativo.

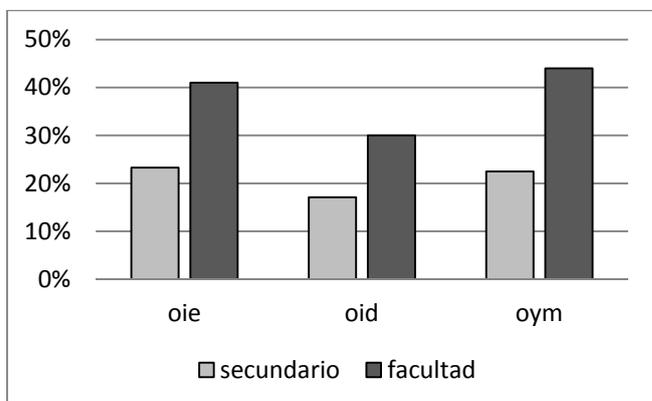


Figura 1: Porcentaje de preguntas que incluyen conceptos científicos, según condición experimental y nivel educativo.

Aunque los conceptos científicos aparecen en una de cada tres preguntas como promedio, la variabilidad de los mismos es pequeña. Es decir, muchas preguntas aluden a los mismos pocos conceptos. En la Tabla 3 se presenta el porcentaje de alumnos que mencionan cada concepto, cuando ese porcentaje superó el 2% en cualquiera de las condiciones experimentales y niveles educativos. Sólo seis conceptos son mencionados por más del 10% de los alumnos en alguna condición experimental y nivel educativo: presión, densidad, peso, viscosidad, fuerza y velocidad. Los demás conceptos son mencionados por muy pocos estudiantes.

Conceptos	Secundaria			Universidad		
	OIE	OID	OyM	OIE	OID	OyM
Presión	41,1%	42,0%	45,7%	92,3%	52,8%	53,8%
Peso	11,8%	15,9%	27,1%	23,1%	22,5%	32,7%
Fuerza	0,0%	38,4%	10,0%	12,1%	18,0%	26,9%
Densidad	0,0%	12,1%	12,3%	46,1%	29,2%	48,1%
Viscosidad	0,0%	1,9%	4,9%	19,2%	2,2%	11,5%
Velocidad	0,0%	10,3%	12,3%	3,8%	9,0%	13,4%
empuje	0,0%	5,6%	2,5%	0,0%	4,5%	7,7%
Vacío	0,0%	0,8%	0,0%	3,8%	6,7%	0,0%
presión atmosférica	0,0%	0,9%	0,0%	3,8%	1,1%	0,0%
Principios, Leyes						
Arquímedes	0,0%	6,5%	7,4%	0,0%	5,6%	0,0%
Pascal	0,0%	0,0%	2,5%	0,0%	1,1%	0,0%

Tabla 3: Porcentaje de alumnos que mencionan conceptos científicos según tipo de experiencia y nivel educativo.

Como se dijo antes, los alumnos universitarios muestran porcentajes más altos que los de secundaria en general. También se observan diferencias entre condiciones experimentales. La condición OyM estimula el uso de mayor diversidad de términos científicos. En la condición OIE, porcentajes muy pequeños de estudiantes mencionaron términos diferentes de presión y peso. Sin embargo, en la condición OyM aparecen porcentajes apreciables de estudiantes que usan 5 conceptos, presión, peso, densidad, fuerza y velocidad.

A continuación se muestran ejemplos típicos del uso que los estudiantes de Secundaria ('S') y de Universidad ('U') dan a los conceptos científicos en sus preguntas.

Respecto de la **presión**, el significado dado por los estudiantes es diverso: la presión con que se aprieta la botella y la presión que se transmite en el seno del líquido. En su inmensa mayoría las preguntas son causales, del tipo “¿El diablillo baja debido a la presión con que se aprieta la botella?” (S-U). Sin embargo hay preguntas que implican la relación entre variables, por ejemplo: “¿Cómo está relacionada la velocidad del diablillo con la presión que ejercemos al apretar la botella?” (S-U), valores límites de variables implicadas: “¿Cuál debe ser la presión mínima que debe ejercer la mano sobre la botella para que el experimento funcione?”(U) o la formulación de hipótesis: “¿será que la presión de la botella sin apretar es menor a la presión que hay dentro de la

tapa?”(S).”¿Si llenamos la botella con más agua y hacemos el mismo procedimiento, se necesita más o menos presión para que el diablillo baje?” (S)

Respecto del concepto **peso**, en el cómputo de la frecuencia se han englobado aquéllas que incluyen los conceptos “peso” y “fuerza gravitatoria”. La mayor parte de las preguntas son causales del tipo “*¿baja por el peso [del diablillo]?*”, una de las pocas preguntas que no lo son, incluye valores límites de la variable: “*¿Cuál es el peso mínimo de la plastilina para que el diablillo baje por el agua?*” (S-U)

La **velocidad** se presenta asociada a la presión y la fuerza, ya que en la mayoría de los casos se pregunta cómo varía la velocidad con que el diablillo asciende o desciende en función de la presión/fuerza que se ejerce sobre la botella.

Respecto del concepto **fuerza**, se emplea en referencia a la fuerza que se ejerce al apretar la botella (“*¿influye la fuerza con que se apriete la botella?*”) por lo cual debería asociarse con el concepto *presión*, por ejemplo: “*¿cuál es la relación entre la fuerza ejercida sobre la botella y la velocidad con la que baja el diablillo?*” (S-U). Se observa sólo una pregunta sobre las fuerzas que actúan sobre el diablillo: “*¿Qué fuerzas actúan sobre el diablillo en cada uno de los casos y de qué manera?*” (U)

La **densidad** está incluida en hipótesis planteadas: “*Si se aumentara la densidad del líquido excesivamente y quizás también la viscosidad, ¿bajaría el diablillo igual?*” (U) y “*¿el cuerpo que asciende pierde densidad por la presión?*” (S).

El **volumen** aparece presente en casi todas las categorías. En general, los alumnos se refieren al volumen de agua presente dentro de la botella, por ejemplo: “*¿Qué relación existe entre el volumen de la botella y el volumen del líquido?*”, excepto en este caso: “*¿Hay alguna relación entre el volumen de la botella y el volumen de los objetos del experimento?*”

Es preocupante atender a los conceptos que, siendo muy relevantes para la comprensión del Ludión, no se mencionan o son muy poco frecuentes. El **empuje** y los principios de **Arquímedes** y de **Pascal** son mencionados por porcentajes pequeños de estudiantes, incluso entre los universitarios (ver Tabla 3). No hay ninguna mención de la

Ley de Boyle y Mariotte, relacionada con la variación del volumen de la burbuja de aire dentro del diablillo.

Algunas preguntas de los estudiantes no sólo incluyen términos científicos aislados, sino ideas completas de carácter científico. Estas ideas pueden asociar entre sí dos o más conceptos científicos, aludir a relaciones causales, interesarse por los rangos de valores adecuados para ciertos parámetros, etc. A pesar de que son el tipo de preguntas más interesantes, y esperables al menos en la universidad, se presentan en porcentajes pequeños de estudiantes.

Algunas de las preguntas más frecuentes incluyendo ideas completas se muestran a continuación.

-“*¿El hecho de que baje y luego suba [el diablillo], tiene su explicación en el principio de Arquímedes y de Pascal?*” (U).

-“*Al estar el recipiente cerrado la cantidad de aire se encuentra invariable y cuando apretamos ejercemos una fuerza [presión], estamos reduciendo el espacio que ocupa el aire [en la tapa del bolígrafo] en este preciso momento el peso [del diablillo] es mayor que el empuje, por lo tanto el diablillo cartesiano desciende, ¿es así?*” (S-U).

-“*¿Al aumentar la presión [en el líquido], la masa de la bola de plastilina es suficiente para contrarrestar la densidad de la burbuja [que se encuentra en el interior de la tapa] inferior [por eso es que flota] a la del agua [que es mayor] y así se hunde?*” (S).

Además de la escasez de preguntas con ideas científicas completas, aparece otro motivo de preocupación: las preguntas que incluyen modelos explicativos inadecuados, o errores científicos, como las siguientes:

-“*¿El diablillo sube porque cuando se aprieta la botella, el agua se desplaza creando cierta corriente?*”: esta pregunta surge tanto en alumnos de secundaria como universitarios (6% de los alumnos universitarios). En vez de relacionarlo con el principio de Arquímedes, se lo relaciona con un desplazamiento de agua que arrastraría al diablillo.

- “*Cuando flota, sabemos que el empuje del agua es igual a la presión del objeto que flota, entonces, cuando presionas la botella con la mano, ¿no debería ser mayor el empuje?*” (S) Por un lado se comparten magnitudes que no pueden compararse (presión y empuje), pero además, la palabra “*empuje*” parecería que está asociada al desplazamiento del agua que se menciona en la pregunta anterior.

- “*¿La densidad del fluido en el que se sumerge el diablillo es proporcional a la presión impresa en la botella?*” (U) Se incluye el error conceptual de no considerar que los líquidos ideales son incompresibles.

- “*¿Baja porque al apretar la botella el volumen aumenta, entonces el empuje de Arquímedes hace que descienda y reducirse, entonces sube?*” (S) En esta pregunta, si bien encuadran bien el fenómeno, interpretan mal la variación del volumen del diablillo y su relación con el empuje.

- “*¿Depende de que se reduce la superficie del agua y al haber menos superficie donde repartirse la presión, se hunde?*” (S) El concepto de presión está bien aplicado, pero no se comprende a qué superficie se refiere cuando dice que se reduce.

- “*Si el tapón tiene oxígeno cuando lo sueltas sobre el agua, cuando aprietas la botella se llena de agua y se hundirá, pero ¿cómo puede subir si está lleno de agua?*” (S) Analiza bien la razón por la que se hunde el diablillo, pero no puede analizar qué sucede al soltarse la botella.

Incluso aparecen preguntas que revelan concepciones de tipo animista:

- “*Al hacer presión, ¿el agua se concentra y ésta ayuda a que descienda?*” (S) (El agua es quien ayuda a descender al diablillo).

- “*¿Si incrementamos la presión en la botella, esto hace que el diablillo pierda peso o que el aire que pueda haber dentro de la tapa pierda su característica de mantener el cuerpo a flote?*” (U) (Asocia al aire la propiedad de mantener el cuerpo a flote, no puede asociarlo al principio de Arquímedes).

- “¿Vuelve a subir para recuperar su posición de equilibrio?”(S), “El cuerpo desciende porque pierde densidad por la presión? (U) (Según estas preguntas es el diablillo quien realiza las acciones).

3.2. Preguntas sobre el ‘Acrobata Trepador’

Como en el caso del diablillo cartesiano o ludión, la mayor parte de las preguntas no incluyen ningún concepto ni ley científica, sino que se formulan utilizando lenguaje ordinario. Las Tablas 5 y 6 muestran las preguntas más frecuentes que no incluyen o sí incluyen, respectivamente, términos científicos.

Preguntas

¿Por qué el doble cono rueda de abajo hacia arriba y no de arriba hacia abajo?
¿Qué pasaría si los dobles conos fueran huecos?
¿Cómo es que sube hasta el final?
¿Con un acróbata de goma subiría igual?
Si se pusiera el *cacharro* (sic) a mitad de las barras, ¿subiría o bajaría?
¿Qué pasaría si la parte abierta estuviera abajo?
¿Cómo es que sube cuando se abren las guías?

Tabla 5.- Preguntas frecuentes que se formulan empleando lenguaje ordinario

Preguntas

¿Qué fuerzas actúan sobre el doble cono?
¿Tiene que ver con el ángulo de las guías?
¿Qué pasaría si el ángulo de los conos fuera mayor?
Si las guías fueran más largas, ¿qué velocidad máxima alcanzaría el doble cono?
¿Puede ser que el peso influya para que el doble cono ascienda?

Tabla 6.- Preguntas frecuentes que incluyen términos científicos.

En la Figura 2 se muestran los porcentajes de preguntas conteniendo términos científicos respecto del total de preguntas, en cada condición experimental y nivel educativo. Los universitarios realizaron un 30% más de preguntas conteniendo términos científicos que los alumnos de secundaria. En este dispositivo se aprecia también un efecto claro de la condición experimental, ya que los estudiantes en condición oie formularon mejor porcentaje de preguntas con términos científicos que los de la condición oid, y éstos, menor que los de la condición oym.

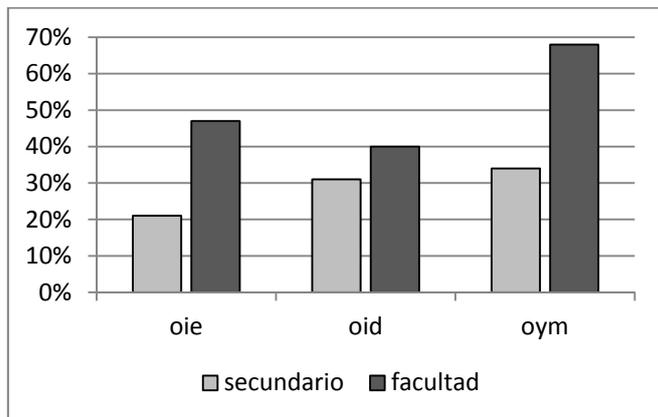


Figura 2: Total de preguntas formuladas por los estudiantes según condición experimental y nivel educativo. Se especifican las preguntas que incluyen conceptos científicos.

En este dispositivo, un mayor número de conceptos fueron mencionados por porcentajes significativos de estudiantes. La Tabla 6 muestra el porcentaje de estudiantes en cada condición experimental y nivel educativo, que utilizan conceptos científicos en sus preguntas (sólo se muestran los porcentajes superiores al 5% en cualquier condición y nivel). Encontramos de nuevo diferencias entre alumnos de secundaria y de universidad en la cantidad de términos científicos utilizados. El 43,1 % de los alumnos de secundaria en la condición observar imágenes estáticas (OIE) mencionan los conceptos científicos, peso y velocidad. En las condiciones observar imágenes dinámicas (OID) u observar y manipular (OyM), seis conceptos peso, velocidad, fuerza, ángulo (ángulo de inclinación y de convergencia) reúnen un porcentaje superior al 70% de los estudiantes. Los estudiantes universitarios mencionan prácticamente el mismo número de conceptos en todas las condiciones experimentales y utilizan más conceptos en sus preguntas.

Conceptos	Secundaria			Universidad		
	OIE	OID	OyM	OIE	OID	OyM
Peso	19,6%	9,3%	22,2%	19,2%	27,0%	51,9%
velocidad	23,5%	6,5%	16,0%	19,2%	9,0%	32,7%
Fuerza	5,9%	4,7%	13,6%	15,4%	13,5%	23,1%
Ángulo	2,0%	21,5%	21,0%	73,1%	40,4%	44,2%
áng. inclinación	0,0%	21,5%	14,8%	73,1%	28,1%	23,1%
áng. del cono	0,0%	1,9%	1,2%	7,7%	4,5%	0,0%
áng. convergencia	0,0%	14,0%	9,9%	34,6%	5,6%	9,6%
fricción	5,9%	1,9%	3,7%	19,2%	16,9%	11,5%
geometría	3,9%	0,0%	0,0%	30,8%	1,1%	13,5%
plano inclinado	0,0%	7,5%	3,7%	0,0%	12,4%	23,1%
aceleración	3,9%	1,9%	3,7%	0,0%	2,2%	5,8%
energía	0,0%	0,9%	1,2%	3,8%	4,5%	9,6%
masa	3,9%	2,8%	0,0%	11,5%	5,6%	5,8%
simetría	0,0%	0,0%	0,0%	7,7%	1,1%	0,0%
momento de inercia	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,5%	9,6%
centro de masa	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	13,5%	7,7%
trabajo	0,0%	1,9%	0,0%	0,0%	1,1%	5,8%

Tabla 6: Porcentaje de alumnos que menciona cada concepto científico en sus preguntas sobre el ‘acróbata trepador’ (doble cono).

Es interesante notar que el concepto de energía, muy pertinente para explicar el doble cono, fue muy poco mencionado entre los estudiantes de secundaria, y sólo estuvo cerca del 10% entre los universitarios en la condición OyM. Los estudiantes no utilizaron el principio de conservación de la energía, ni el de equilibrio asociado con posiciones de mínima energía potencial, en sus preguntas.

A continuación se presentará el análisis del uso de los conceptos más frecuentes en las preguntas destinadas a explicar el doble cono.

Peso: Se agruparon aquí las preguntas que incluyen al peso y la fuerza gravitatoria. En todas las categorías es uno de los conceptos más frecuentes. Además de las preguntas causales, se observan las de relación entre variables: “¿Si el vector de fuerza resultante fuera inferior al peso, el doble cono subiría?” (U), “¿Qué pasaría en otro planeta con menor gravedad?; ¿Habría que cambiar los ángulos?” (S), formulación de hipótesis: “¿por qué no baja, si está en un plano inclinado bajo la acción gravitacional?” (S-U).

Ángulo de inclinación de las guías: es uno de los conceptos incluido con mayor frecuencia en las preguntas de los alumnos, si bien en los estudiantes de secundaria surge al observar imágenes dinámicas y al manipular. Además de las preguntas causales, se observan las que se refieren a valores límites: “¿Cuál es el ángulo de inclinación máximo del plano en el que el acróbata sube por las guías?” (S-U), o de relación entre variables: “¿Cómo afecta el ángulo de inclinación las fuerzas que actúan sobre el doble cono?” (S-U).

Ángulo de apertura de las guías: es un concepto frecuente en los estudiantes de facultad obteniéndose valores del 35% para la observación de imágenes estáticas. Además de las preguntas causales, se encuentran las de relación entre variables, como las siguientes: “¿Existe alguna relación entre la conicidad y el ángulo de separación entre las dos guías?” (U), “¿hay alguna relación entre los ángulos de inclinación y de separación de los rieles?” (S-U) o de valores límites: “¿Qué tanto debo separar las guías para que ocurra este fenómeno?” (S-U)

Muchos estudiantes incluyeron el concepto **ángulo** en sus preguntas, sin especificar a cuál de los tres ángulos (inclinación, apertura, cono) se referían. En los alumnos de secundaria se incrementa desde el 1% en las imágenes estáticas hasta más del 20% al manipular. Se observan también preguntas de valores límites: “¿Cuál es el ángulo límite para que el cono no pueda subir?” (S-U) y de relación entre variables: “¿Cómo influye el ángulo para que el doble cono suba con tanta velocidad?” (S-U).

En todas las categorías, los alumnos mencionan el concepto **velocidad**, pero siempre está incluido en preguntas donde se relacionan variables como “¿variará la velocidad con que el acróbata sube si se inclinan más las guías?” (S-U), “¿Cómo varía la velocidad del acróbata de acuerdo al ángulo de separación de las guías?” (S-U), y en formulación de hipótesis “¿El peso del cono hace que varíe la velocidad con que sube el cono?”(S-U)

En muchas preguntas se incluye a “*las fuerzas*” de manera general, ninguno se planteó analizar qué fuerzas están asociadas a este sistema. Los estudiantes universitarios la mencionan con una frecuencia superior al 13%.

De nuevo se encontraron pequeñas proporciones de preguntas que incluyeran ideas científicas completas. Algunas de las más frecuentes se exponen a continuación.

Un ejemplo de relación entre variables que aparece frecuentemente entre los estudiantes universitarios es: “*¿Cómo afecta el ángulo de inclinación de las guías a las fuerzas que actúan sobre el doble cono?*” (U), y en la formulación de hipótesis: “*¿Se ejerce una fuerza por parte de las guías al cambiar el ángulo y esto hace que el dispositivo suba?*” (S-U) En este caso, se observa que tanto la fuerza como el ángulo están generalizados, no se especifica a ninguno de los dos.

Una variable no cuantitativa que incluyeron todas las categorías es el material, relacionado con una idea causal. Un ejemplo frecuente de relación entre variables es: “*¿Si el doble cono fuera de otro material, subiría con la misma velocidad?*” (S-U).

Es interesante observar cuáles son los conceptos que no se mencionan o lo hace menos del 10% de los alumnos: cuerpo rígido, roto-traslación, fuerza neta o resultante, fuerza normal y fuerza de rozamiento no han sido mencionados por los alumnos de secundaria ni de universidad. El concepto de **centro de masa** surge en el 13,4% de los estudiantes universitarios sólo al observar imágenes dinámicas. El concepto de **rotación** surge en un 4,9% de los estudiantes universitarios que observan imágenes dinámicas y el 1,9% de los que manipulan. El concepto de **torque** surge sólo en el 1,1% de los estudiantes universitarios que observan imágenes dinámicas. La fuerza de **fricción** es mencionada por el 13,0% de los estudiantes universitarios al observar imágenes estáticas en preguntas del tipo: “*¿Cómo actúa la fuerza de fricción en el proceso de rotación, cuando el doble cono sube?*”

En relación con un análisis basado en las **energías** puestas en juego, no se incluyen al observar imágenes estáticas; los alumnos secundarios la menciona el 2% aproximadamente, tanto en imágenes dinámicas como al manipular, mientras que en los universitarios es inferior al 6% en ambas categorías. Aparece en preguntas causales, así como en rango de valores: “*¿Puede alcanzar el doble cono un estado de mínima energía en un punto diferente a los extremos?*”

Con respecto a los conceptos de energía mecánica, potencial y cinética, los incluyeron el 1% de los alumnos secundarios en las distintas categorías. Respecto de los universitarios, el 1% incluyó energía mecánica al observar imágenes dinámicas y el 2% al manipular; en esta última categoría, el 2% incluyó energía potencial y el 9%, energía cinética. Todos estos conceptos se incluyeron en preguntas causales.

No hay preguntas explicativas en alumnos de secundaria, y entre los universitarios son escasas las preguntas que realmente intentan explicar el funcionamiento del ‘acróbata trepador’ y buscan confirmación:

- “¿Se ejerce una fuerza por parte de las guías al cambiar el ángulo y esto hace que el dispositivo suba?” (U). En este caso se menciona un ángulo sin especificar si es el de apertura de las guías o el de inclinación de la rampa, y tampoco se realiza un esfuerzo por determinar la fuerza aludida.

- “¿Hay una relación entre los tres ángulos que hace que el doble cono suba?” (U)

También se recogieron preguntas que incluyen modelos explicativos inadecuados o errores científicos:

- ¿Este proceso es cíclico? Es decir, sin que se parara el movimiento, al cerrar en paralelo y abrir de nuevo convergentemente la guías, ¿podrá continuarse es interrupción? (U)

- ¿Puede girar el cono sobre su propio eje y es por ello que sube? (U)

- ¿El hecho de que suba implica que el doble cono tiene energía acumulada? (S-U)

- ¿Hay conservación de la energía en el sistema aun cuando hay un trabajo externo? (U)

- ¿Sube porque el peso del doble cono es inferior a la inercia y la energía cinética que lo mantiene en movimiento? (U)

- ¿El fenómeno se debe a que al estar los propios lados del doble cono inclinados, tiende a moverse para cualquier lado? (S)

Finalmente, se vuelven a encontrar algunas preguntas de tipo animista:

- ¿El doble cono sube porque tiende a ocupar toda la superficie de las guías y cuando acaba la superficie del cuerpo y comienzan los palos, deja de subir? (S)

- “¿Vuelve a subir para recuperar su posición de equilibrio?” (U),
- “¿Sube porque el centro de masa a medida que avanza va buscando su punto de equilibrio?” (U)
- “¿Sube porque busca la abertura?”(U)
- “¿Si el trabajo realizado por el doble cono fuera mayor que la energía cinética, subiría?” (U)

4.-Conclusiones

En este trabajo se pretendía describir el tipo de preguntas que los estudiantes de educación secundaria, y universitarios, formulan cuando necesitan comprender dispositivos experimentales. Se consideraron tres situaciones didácticas en los que los dispositivos suelen presentarse: leer y observar imágenes estáticas como gráficos, esquemas, etc., leer y observar imágenes dinámicas en un video o en una demostración de cátedra por ejemplo, y finalmente observar y manipular los dispositivos.

En análisis de las preguntas formuladas muestra varios patrones de interés. En primer lugar, los estudiantes utilizan menos conceptos científicos de los esperables para intentar describir, explicar los dispositivos, o predecir su funcionamiento a través de relaciones causales. Aproximadamente un tercio de las preguntas formuladas contuvieron al menos un término científico pero sólo una cuarta parte estuvo destinada a construir una representación mental científica, es decir, contuvo alguna idea completa de naturaleza científica. Eso sí, de acuerdo con lo esperable, los universitarios superaron a los alumnos de secundaria en el uso de estos términos, como en otros trabajos precedentes (Torres, et al. opus cit.).

En segundo lugar, la posibilidad de observar y manipular los dispositivos aumentó la proporción de preguntas causales que usaron términos científicos, y favoreció la aparición de mayor diversidad de los mismos, especialmente entre los universitarios.

Este resultado apoya empíricamente el uso, no sólo del laboratorio escolar, sino también de los museos interactivos de ciencias, cuyo propósito no es tanto exhibir objetos como ideas y conceptos (Rennie y McClafferty, 1998). La libertad que las personas sienten para poder formular preguntas en estos contextos permiten dar la formación solicitada a

cada una y, por tanto, son adecuados para alfabetizar científicamente a la población (Segarra, Vilches y Gil, 2008).

En tercer lugar, los principios y leyes de la ciencia que deben ser utilizados para explicar los dispositivos, aparecieron en porcentajes muy pequeños. Tal es el caso del principio de Arquímedes en el Ludión, y del principio de mínima energía potencial en el Acróbata o doble cono. Esto apunta a una falta de formación de una de las competencias científicas: la capacidad para modelizar la realidad en términos de teorías, conceptos, leyes y principios de la ciencia.

En cuarto lugar, otro aspecto muy preocupante fue encontrar, incluso entre los universitarios, ideas claramente erróneas desde el punto de vista científico, en incluso ideas de naturaliza animista. Ello activa una señal de alarma entre los profesores y obliga a meditar sobre la eficacia de los métodos de instrucción habituales, que hacen poco énfasis en los errores conceptuales e ideas alternativas de los estudiantes. La acumulación de cursos y años de estudio no corrige, por sí misma, dichos errores.

5.-Referencias bibliográficas

- Anderson, R.D. (2002). Reforming science teaching: What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13 (1), 1-12.
- Barolli, E., Laburú, C.E. y Guridi, V.M. (2010). Laboratorio didáctico de ciencias: caminos de investigación. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 88-110.
- Chin, C. y Chia, L.G. (2004). Problem-based learning: using students' questions to drive knowledge construction. *Science Education*, 88, 707-727.
- Chin, C. y Osborne, J. (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1-39.
- Chin, C., Brown, and D. y Bruce, B. (2002). Student-generated question: A meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24 (5), 521-549.

- Chinn, C. A., y Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education* 86, 175–218.
- Cuccio-Schirripa, S. y Steiner, H.E. (2000). Enhancement and analysis of science question level for middle school students. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 210-224.
- Dillon, J.T. (1988). The remedial status of student questioning. *Journal of Curriculum Studies*, 20, 197-210.
- Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., Furio, C. & Mtnez-Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.
- Graesser, A. C., y Person, N. K. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal*, 31, 104–137.
- Grasser, A.C. y Olde, B. (2003). How Does One Know Whether A Person Understands a Device? The Quality of the Questions the Person Asks When the Device Breaks Down. *Journal of Educational Psychology*, 95, 524-536.
- Greeno, J.G. (1989). Situations, Mental Models, and Generative Knowledge, en Klahr, D. y Kotovsky, K. (eds.). *Complex Information Processing: The Impact of Herbert Simon*, (pp. 285-318) Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ.
- Harper, K., Etkina, E., y Lin, Y. (2003). Encouraging and analysing student questions in a large physics course: Meaningful patterns for instructors. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (8), 776-791.
- Hartford, F., y Good, R. (1982). Training chemistry students to ask research questions. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 559-570.
- Hofstein A. y Lunetta V.N. (2004). The laboratory in science education: foundation for the 21st century. *Science Education*, 88, 28-54.
- Ishiwa, K., Sanjosé, V. y Otero, J. (2012). Questioning and reading goals: Information-seeking questions asked on scientific texts read under different task conditions. Accepted for publication in *British Journal of Educational Psychology*.

- Lederman, N. (1999). Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice: Factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching* , 36 (8), 916 - 929.
- Rennie, L. I. y Mc Clafferty, T.P. (1998) Science centers and science learning. *Studies in Science Education.*, 27, pp. 53-98
- Sanjosé, V., Torres, T. y Soto, C. (2012). Effects of scientific information format on the comprehension self-monitoring processes: question generation. Accepted for publication in *Revista de Psicodidáctica*.
- Scardamalia, M., y Bereiter, C. (1992). Test-Based and Knowledge-Based Questioning by Children. *Cognition and Instruction*, 9, 177-199.
- Segarra, A; Vilches, A., y Gil, D. (2008) Los museos de ciencias como instrumentos de alfabetización científica. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 22, 85-102.
- Solaz-Portolés, J.J., Sanjosé, V. y Gómez, A. (2011). Aprendizaje Basado en Problemas en la educación superior: una metodología necesaria en la formación del profesorado. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 25, 177-186.
- Torres, Milicic, Soto y Sanjosé, (2012). Generating students' information seeking questions in the scholar lab: what benefits can we expect from inquiry teaching approaches? Pendiente de revision en *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*.
- Torres, T., Duque, K.J., Ishiwa, K., Sánchez, G., Solaz-Portolés, J.J. y Sanjosé, V. (2012). **Preguntas de los estudiantes de educación secundaria ante dispositivos experimentales.** *Enseñanza de las Ciencias*, 30 (1), 39-60.
- Trumper, R. (2003).The physics laboratory – a historical overview and future perspectives. *Science and Education*, 12, 645-670.

Truyol, M.E., y Gangoso, Z. (2012). Caracterización del proceso de resolución de problemas: el caso de los estudiantes. 97th Reunión Nacional de la Asociación Física Argentina. Córdoba, Septiembre de 2012.

Watts, M., Gould, G., y Alsop, S. (1997). Questions of understanding: categorising pupils, questions in science. *School Science Review*, 79(286), 57-63.

Websites, 2012: 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>;

Consultadas el 22/11/2012

CAPITULO 10

Conclusiones Generales,
Problemas Abiertos y
Perspectivas de Futuro

10.1.- Cumplimiento de objetivos y conclusiones

En este apartado se pretende analizar el grado de consecución de los objetivos planteados. Para ello discutiremos los resultados extraídos de cada estudio empírico realizado y mostrado en los capítulos 5-9.

Como planteamos en el capítulo 1, el objetivo general de esta investigación fue estudiar el proceso de generación de preguntas destinadas a obtener información, como elemento esencial de la actividad científica para la construcción de nuevo conocimiento. El objetivo general implicaba considerar los factores cognitivos, metacognitivos y contextuales que favorecen o dificultan la formulación de preguntas de distinta naturaleza. Entre las diversas posibilidades, centramos la atención en estudiar si diferentes modos típicos de presentación de información sobre el funcionamiento de dispositivos experimentales científicos, favorecen o inhiben ciertos procesos mentales que se asocian con la génesis de preguntas.

A partir de este objetivo general, se definieron objetivos específicos que han sido abordados en los estudios empíricos mostrados en los capítulos 5-9 de esta tesis. El primer objetivo específico planteado fue:

Validar un procedimiento para estimular la generación de preguntas por parte de los estudiantes

Este objetivo fue abordado en el estudio empírico 1 (capítulo 5) y, tras evaluar su adecuación, retomado en los estudios siguientes (capítulos 6, 7, 8 y 9). ¿están bien estos números?

En segundo lugar, se utilizaron tres estrategias para incentivar la formulación de las preguntas. En primer lugar, se atendió la afirmación de Dillon (1988) acerca de que el estado previo a una ISQ es un estado de perplejidad. Por ello se decidió utilizar dos dispositivos cuyo comportamiento es, con frecuencia, diferente de lo que se espera: el Doble Cono (o “acróbata”) y el Diablillo Cartesiano (o “ludión”). Algunas pruebas piloto con sujetos que no pertenecen a las muestras experimentales usadas en los estudios

empíricos, confirmaron la capacidad de estos artefactos para producir perplejidad por su funcionamiento inesperado.

Además, se intentó evitar la frecuente inhibición de la formulación de preguntas debidas a factores psicosociales. Para ello se utilizaron otras dos estrategias:

1) Confidencialidad: cada estudiante formuló sus preguntas de forma individual en todas las condiciones experimentales contempladas en nuestros estudios. Se eligieron situaciones en las que se evitara la posibilidad de ser escuchado o enjuiciado por otros compañeros/as.

2) Recompensa: las instrucciones invitaban a comprender el dispositivo para luego explicarlo a otra persona y, de acuerdo con esta explicación se obtendría una bonificación en la evaluación del curso.

Además, y muy importante para obtener datos fiables, se inhibió la formulación de preguntas espurias, innecesarias o que no correspondieran realmente a problemas de comprensión del sujeto proporcionando a los participantes unas instrucciones específicas. Se les informó que debían comprender el funcionamiento de los dispositivos y que luego serían evaluados en una segunda sesión. En esta segunda sesión cada participante debería explicar cómo funcionan los dispositivos a otro estudiante no participante en el estudio. La calidad de esa explicación sería evaluada. Las respuestas a cada una de las preguntas formuladas en la primera sesión serían proporcionadas antes de la sesión de evaluación para aumentar el rendimiento.

Los resultados obtenidos, que expusimos y analizamos en Torres, Duque, Ishiwa, Sánchez, Solaz-Portolés y Sanjosé, (2012), recogido en el Capítulo 5 de esta Memoria, nos permiten enunciar las siguientes conclusiones. En primer lugar, los estudiantes de secundaria de las muestras realizaron un número de preguntas considerable (entre 4,5 y 7,5 preguntas por estudiante en 10-20 minutos aproximadamente) ante los dispositivos experimentales en las situaciones particulares en que éstos se presentaron, a diferencia del promedio de 1 pregunta por estudiante cada 6-7 horas de clase en situaciones ordinarias de aula, reportado por Graesser y Person (1994) y concordante con estudios previos (Dillon, 1988; Good et al., 1987). Ello replica otros hallazgos anteriores: cuando la situación lo favorece, los estudiantes son capaces de realizar muchas preguntas destinadas a obtener información (Roca, 2009; Costa et al., 2000; Graesser y Person, 1994).

Nuestra primera conclusión general puede formularse como sigue:

Conclusión General 1

Si se acomodan las situaciones didácticas para estimular las preguntas de los estudiantes, éstos pueden llegar a formular un número importante de preguntas que buscan salvar déficits de conocimiento (Graesser y Person, 1994). Nuestras investigaciones, y otras precedentes (Ishiwa, Sanjosé y Otero, 2012) han demostrado que la inducción de perplejidad es un ingrediente importante para crear las condiciones cognitivas que anteceden a una pregunta en el aprendizaje de las ciencias, tal como apuntó Dillon (1988). La perplejidad puede ser generada a partir de la violación de expectativas, es decir, a partir de la elaboración explícita de predicciones a partir de modelos sobre el comportamiento del mundo, y de la constatación de que las predicciones no se cumplen contraviniendo lo que se consideran “leyes” sobre el mundo.

Además, un procedimiento que disminuya la presión social por exposición pública de las propias carencias, y que lejos de punir dicha exposición, la premie, ha demostrado estimular la generación de preguntas ISQ.

Nuestro segundo objetivo se formuló del siguiente modo:

Clasificar las preguntas de los estudiantes ante dispositivos experimentales, a partir de una taxonomía teóricamente fundamentada en la realización de inferencias.

En las variadas condiciones experimentales de los estudios empíricos desarrollados a lo largo de esta investigación, (Torres et al. 2012; Sanjosé, Torres y Soto, 2013; Torres, Milicic, Soto y Sanjosé, 2013), recogidos en los capítulos 5, 7 y 8 de esta Memoria, se logró clasificar la gran cantidad de preguntas formuladas según la taxonomía que se deriva de la tipología de inferencias propuesta por Trabasso y Magliano (1996) para la comprensión de narraciones, y utilizada con éxito en la comprensión de textos expositivos (Ishiwa, Sanjosé y Otero, 2012) y también de dibujos esquemáticos (Ishiwa, Macías, Maturano y Otero, 2010). Las preguntas ISQ se clasificaron como: a) preguntas destinadas

a comprender mejor las entidades; b) preguntas destinadas a explicar por qué las cosas son como son; c) preguntas destinadas a anticipar acontecimientos o a predecir cómo serían los acontecimientos si las condiciones fueran distintas a las actuales.

El porcentaje de preguntas no destinadas propiamente a obtener información sobre los fenómenos implicados en los dispositivos experimentales, se refirieron a las instrucciones o al procedimiento que los estudiantes debían seguir en las pruebas, y siempre supusieron menos del 5% de todas las preguntas. Es decir, si no se consideran estas preguntas procedimentales (o, de modo alternativo, se incluye una categoría independiente para ellas), la taxonomía propuesta demuestra ‘suficiencia’ para caracterizar las preguntas generadas por los estudiantes de secundaria y universitarios implicados en los estudios empíricos desarrollados y, por tanto, muestra que más del 95% de las preguntas generadas por los participantes con la intención de comprender los dispositivos científicos, procede en efecto de inferencias intentadas y no logradas. Esta es la idea importante que fundamenta la propuesta taxonómica.

En nuestros estudios, los criterios y protocolos de clasificación de preguntas en las 3 categorías consideradas alcanzaron un buen nivel de fiabilidad, ya que los coeficientes Kappa de Cohen se situaron entre 0,79 y 0,87 en los estudios empíricos. Sin embargo, dichos criterios tuvieron que ser revisados con cuidado porque la variedad en la formulación lingüística de las preguntas hizo difícil en ocasiones determinar la naturaleza de la pregunta. Este aspecto merece atención futura (ver apartado 10.2).

Conclusión General 2

Un porcentaje muy alto de las preguntas que los estudiantes generan para obtener información ante dispositivos científicos, está generado por inferencias intentadas y no logradas. Estas inferencias se producen en los intentos de: a) conocer mejor las entidades implicadas (objetos y eventos); b) conocer por qué las cosas son como son, es decir, explicar la razón por la cual los objetos presentan determinadas cualidades o por la que se producen eventos específicos; c) conocer qué podría suceder si las situaciones fueran distintas a las que actualmente se muestran, como por ejemplo, al pasar un cierto tiempo a partir del presente (anticipar eventos futuros) o al modificar condiciones presentes

(características, disposiciones, contextos, etc.). Estas últimas inferencias son propias de la ciencia y tienen un carácter hipotético-predictivo.

El tercer objetivo específico de esta tesis fue:

Validar empíricamente el modelo Obstáculo-Meta sobre generación de preguntas para información científica no-textual, asociada con dispositivos experimentales.

Este objetivo se abordó específicamente en el estudio empírico mostrado en el capítulo 6 de esta tesis (Torres y Sanjosé, 2014). El modelo ha recibido validación empírica a partir de experimentos realizados en condiciones de lectura de textos con contenido científico (Ishiwa, Sanjosé y Otero, 2012), pero no en condiciones de visualización y manipulación de dispositivos científicos para su comprensión.

El modelo Obstáculo-Meta propone una relación causal entre sus 4 elementos constitutivos esenciales: el conocimiento previo del sujeto, los obstáculos de comprensión (detectados por el sujeto), la meta de comprensión que el sujeto se ha propuesto (una determinada representación mental sobre la información suministrada) y las preguntas. Lo que se predice en el modelo es que el conocimiento previo y la meta de comprensión del sujeto condicionarán el tipo de obstáculos que pueda encontrar en su camino hacia esa meta (es decir, el proceso cognitivo de activación-elaboración-re-elaboración de un modelo mental particular), y que la naturaleza de los obstáculos encontrados se asociará directamente con la naturaleza y el contenido de las preguntas formuladas.

La contrastación empírica del modelo exigiría, *sensu stricto*, lo siguiente:

- a) Control del conocimiento previo del sujeto
- b) Obtener evidencia de los obstáculos de comprensión encontrados por el sujeto ante una información determinada
- c) Obtener evidencia del tipo de representación mental que se pretende elaborar para comprender dicha información a través del contenido de las preguntas (ISQ) formuladas.

Con ello, podría falsarse o apoyarse la predicción del modelo, expresada más arriba.

En ausencia de evidencias sobre cada obstáculo, cada modelo mental y cada pregunta, una contrastación *sensu lato* del modelo podría lograrse a partir de la relación entre diferencias en las representaciones mentales pretendidas, diferencias en los obstáculos de comprensión detectados y diferentes tipos de preguntas formuladas. Ello exige:

- a) Control del conocimiento previo de los sujetos.
- b) Evidencia de diferencias entre representaciones mentales pretendidas por dos sujetos distintos.
- c) Evidencia de diferencias entre los obstáculos de comprensión detectados por esos dos sujetos con metas distintas, y que son explicitadas por las diferencias entre las preguntas formuladas por esos dos sujetos.

Con los medios actualmente disponibles (instrumentos, procedimientos experimentales), obtener evidencias de cuál es la representación mental que una persona persigue elaborar para comprender una información, es sumamente difícil. Es posible obtener indicios sobre el contenido y estructura de una parte de dicha representación mental, pero es casi imposible asegurar que se está explicitando exhaustivamente dicha representación mental. Por tanto, en el estudio mostrado en el capítulo 6 de esta tesis se optó por la segunda vía de contrastación, más laxa. Así pues, se propuso una contrastación 'laxa' del modelo obteniendo evidencia de diferencias entre las metas cognitivas que los estudiantes manifestaron a la hora de elaborar la información, y de diferencias entre los obstáculos de comprensión de esos estudiantes, de modo que se pudiera relacionar las diferencias en las metas con diferentes distribuciones en el tipo y frecuencia de sus preguntas.

Aunque rudimentario, el procedimiento experimental recogido en el estudio del capítulo 6, proporcionó evidencias a favor de las predicciones del modelo Obstáculo-Meta. Nuestro experimento se centró en el caso particular de información no textual, esto es el caso del funcionamiento de dispositivos experimentales científicos. El procedimiento de validación incluyó una medida simultánea de preguntas y de representaciones mentales intentadas por los sujetos (metas). El estudio mostró una relación clara entre tipo de preguntas formuladas y tipos de ideas expresadas durante las entrevistas en profundidad y

en los resúmenes escritos elaborados por los sujetos de la muestra. Las ideas fueron generadas en interacción con los dispositivos y en tareas de comprensión de los dispositivos. Por tanto, pudieron asociarse con las representaciones mentales intentadas por los sujetos en esa situación. Diferentes distribuciones de preguntas se asociaron de un modo específico con diferentes distribuciones de ideas expresadas: preguntas explicativas se asociaron significativamente con ideas que involucraron cadenas causales; preguntas asociativas, incluyendo en muchos casos parámetros constitutivos de los dispositivos, se asociaron claramente con ideas sobre descripciones de las entidades implicadas en los dispositivos; preguntas hipotético-predictivas se asociaron con ideas que expresaron intentos de saber qué podría ocurrir en el caso de modificar los dispositivos en algún sentido (modificando alguno de sus parámetros). Dos condiciones experimentales en forma de tareas diferentes, fueron impuestas externamente a los sujetos en la investigación con el fin de generar en ellos diferentes metas cognitivas al procesar la misma información (el funcionamiento de dispositivos experimentales en montajes de laboratorio). El resultado obtenido fue el esperado, ya que dichas tareas se asociaron claramente con diferencias en las representaciones mentales generadas por los estudiantes para intentar comprender los dispositivos. Esto apoya indirectamente los estudios anteriores de validación del modelo (Ishiwa, Sanjosé y Otero, 2012) en los que no se tomaron medidas relacionadas con las representaciones mentales de los sujetos pero se consideraron diferentes condiciones experimentales en forma de diferentes tareas impuestas a los sujetos participantes. Las diferencias en la distribución de preguntas en cada condición experimental fueron significativas, 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. Estas evidencias de apoyo al modelo se suman a las que fueron obtenidas en el trabajo de Ishiwa (2012).

Conclusión General 3

El mecanismo cognitivo y metacognitivo por el que se generan las preguntas destinadas a obtener información, se puede asimilar a un camino que se debe recorrer para llegar a una meta. Este proceso parece involucrar los siguientes elementos:

- a) Una meta de la persona que intenta comprender, que es una determinada representación mental de la información. Esta representación mental es idiosincrática, propia de cada persona, y depende de su conocimiento previo, de sus intereses, etc.
- b) La detección de obstáculos de comprensión en el camino hacia la meta que, por tanto, dependen del camino que se ha elegido, del conocimiento del sujeto y de su control de la comprensión. Los obstáculos pueden ser déficits de conocimiento, o dificultades para relacionar coherentemente el nuevo conocimiento con el conocimiento previo, y puede, por tanto, aparecer en cualquiera de los niveles de comprensión predichos en algunas teorías de comprensión de la información (léxico, semántico, relacional, abstracto o formal).
- c) La decisión regulatoria del sujeto para manifestar, en una forma lingüística determinada, su demanda de ayuda para superar el obstáculo a través de una pregunta.

El cuarto objetivo específico formulado fue:

Estudiar el modo en que diferentes formatos de presentación de información científica, asociados con diferentes usos educativos de los dispositivos experimentales, causan diferencias en las preguntas de comprensión generadas por los estudiantes.

Este objetivo se abordó primero en el estudio empírico del capítulo 7 (Sanjosé, Torres y Soto, 2013), y fue replicado con modificaciones y mejoras interesantes en otro estudio empírico diferente mostrado en el capítulo 8 de esta tesis (Torres, Milicic, Soto y Sanjosé, 2013).

Se consideraron varias condiciones experimentales en esta tesis, correspondientes a distintos modos de presentar la información sobre dispositivos experimentales en ciencias: 1) condición de lectura de textos, bien sin imágenes adjuntas, (en el capítulo 7), o bien con imágenes estáticas adjuntas, (capítulo 8); 2) condición de visualización sin manipulación de dispositivos (mostrados en película), y 3) condición de visualización con manipulación de dispositivos (en el laboratorio escolar). En los límites de nuestro trabajo, los varios experimentos realizados han demostrado que el formato con el que la información se

presenta a los alumnos afecta la distribución del tipo de preguntas que se generan, aportando con ello, alguna evidencia sobre los procesos mentales (inferenciales) y también sobre la contribución particular de las actividades de los laboratorios escolares para el aprendizaje de las ciencias. Los puntos principales de estos estudios se pueden resumir como sigue:

1.- Se obtuvieron diferencias significativas entre la condición de lectura (con o sin imágenes estáticas adjuntas) y las condiciones experimentales de visualización y manipulación, en la proporción de preguntas asociativas, con un tamaño del efecto grande y alta potencia estadística. Consistentemente, hay diferencias significativas entre la condición de la lectura y la condición de manipulación en la proporción del resto de tipos de preguntas. Estas preguntas afectan la causalidad, bien dirigidas los antecedentes, bien hacia los consecuentes (predicciones a partir de hipótesis).

2.-Las proporciones de preguntas explicativas fueron altas en las tres condiciones, pero la condición en la que los sujetos manipularon directamente los dispositivos pareció estimular una mayor proporción de preguntas explicativas que las otras dos condiciones (lectura de texto/visualización del funcionamiento). Además la condición de visualización estimuló una proporción mayor de preguntas predictivas que las otras dos condiciones. Estos resultados fueron replicados en dos experimentos para las condiciones de visualización y manipulación, aunque la potencia estadística no fue lo suficientemente alta.

Conclusión General 4

La posibilidad de observar los dispositivos en un formato realista (condiciones de manipulación y visualización en nuestra tesis) parece liberar suficientes recursos cognitivos para generar no sólo preguntas del tipo *¿Por qué...?*, sino también preguntas del tipo *¿Qué pasaría si...?* y concentrarse en la información importante, comparado con lo que sucede cuando se leen textos sobre el funcionamiento de los dispositivos, incluso cuando éstos están acompañados de imágenes estáticas, típico de los textos educativos. De acuerdo con Chandler y Sweller (1991), la visualización de imágenes dinámicas sobre procesos desarrollados en el tiempo, requiere menos recursos cognitivos que la condición sin imágenes o con imágenes estáticas. La representación mental de los procesos o eventos

a lo largo del tiempo consume muchos recursos que no están disponibles para procesar otra información (por ejemplo, la causalidad). La posibilidad de visualizar el desarrollo de los hechos en el tiempo descarga la memoria de trabajo de la tarea de representar bien las entidades implicadas, y esos recursos se pueden emplear en antecedentes o consecuentes causales. Como las relaciones causales implican dos (al menos) entidades (el antecedente y el consecuente), conocer esas entidades es un prerequisite para entender sus relaciones. Por tanto, los sujetos en esta condición sin imágenes dinámicas formulan las preguntas dirigidas a conocer mejor las entidades antes que las preguntas causales, que quedan inhibidas por la saturación de la memoria de trabajo.

Además, la posibilidad de manipular los dispositivos y no sólo visualizar su funcionamiento, genera mayor número de preguntas explicativas y menor número de preguntas predictivas. Las proporciones sustanciales de preguntas predictivas en la forma *¿Qué pasaría si...?* obtenidas en la condición de visualización sugieren que algunos estudiantes tratan de salvar los obstáculos de comprensión mediante la búsqueda de factores causales formulando conjeturas. A pesar de que esas conjeturas no pueden comprobarse inmediatamente en esta condición, representan un esfuerzo activo por comprender los dispositivos moviéndose mentalmente a lo largo de cadenas causales. En la condición de manipulación, parece suceder lo siguiente: el sujeto detecta un obstáculo de comprensión asociado a una inferencia predictiva; entonces, en lugar de formular explícitamente una pregunta de esta naturaleza (*“¿Qué pasaría si...?”*), decide manipular el dispositivo para saber de inmediato lo que realmente sucede y que la evidencia proporcione la respuesta a su pregunta hipotético-predictiva no formulada explícitamente. Una vez se obtiene la evidencia en forma de comportamiento del dispositivo (un comportamiento no esperado), con frecuencia aparece una pregunta explicativa en forma de *“¿Por qué ha sucedido esto?”* debido a un nuevo obstáculo de comprensión producido tras la manipulación. Ello implica que la condición manipulación produce más preguntas explícitas de tipo explicativo, y menos de tipo hipotético-deductivo, que la condición de visualización.

En todo caso, la posibilidad de manipular los dispositivos en el laboratorio permite a los estudiantes avanzar a través de las cadenas causales utilizando un razonamiento hipotético-deductivo generado mediante inferencias predictivas. Si se considera la

comprensión (es decir, el logro de una representación mental consistente y completa), un problema cognitivo a resolver, la manipulación de dispositivos ayuda a los sujetos a ‘navegar por el espacio del problema’ (Newel y Simon, 1972). Esta es una contribución específica de las actividades experimentales en condiciones de laboratorio, que podría ser tomada en consideración por los profesores.

El término “comprender” tiene muchos significados. Uno de ellos es “representar en la mente los objetos, eventos y las características aludidos en la información suministrada”. Otro es “justificar por qué los objetos y los eventos son como son”. Esta segunda acepción implica la causalidad cuyo rol en la ciencia es crucial. Una de las metas de la ciencia es poder explicar la realidad usando unas pocas leyes, y tomar como base el razonamiento causal para aplicar esas leyes a los diferentes aspectos particulares que puede presentar la realidad. La posibilidad de observar imágenes realistas de fenómenos naturales facilita mucho la primera de las acepciones y, por tanto, libera recursos cognitivos para que puedan ser usados en la segunda aceptación. En nuestros experimentos, los estudiantes que pudieron observar el funcionamiento de dispositivos experimentales con imágenes realistas (o, incluso, directamente en la realidad tangible), formularon una mayor proporción de preguntas de naturaleza causal que los sujetos que habían de construir esa representación de la realidad (leyendo textos).

Nuestro quinto objetivo específico quedó planteado del modo siguiente:

Estudiar el modo en que el nivel de conocimiento específico en ciencias afecta la formulación de preguntas sobre el funcionamiento de los dispositivos experimentales.

Este objetivo fue acometido básicamente en los estudios experimentales recogidos en los capítulos 7 y 8 de esta tesis (Sanjosé et al. 2013; Torres et al. 2013), aunque también en el capítulo 9 se muestran efectos del conocimiento previo de los sujetos en ciencias (Torres, Milicic y Sanjosé, 2013). En el primero de estos estudios participaron estudiantes de Secundaria de 10º grado (4º de ESO) y 12º grado (2º de bachillerato de ciencias), mientras que en el segundo de ellos participaron no sólo estudiantes de secundaria, sino también estudiantes universitarios de cursos intermedios de carreras de ciencias.

En un análisis de diferencias entre universitarios y alumnos de secundaria los resultados fueron los esperados (ver capítulo 8). Los estudiantes con alto conocimiento previo, los universitarios de carreras de ciencias, trataron de modelizar la realidad utilizando los conceptos, principios y leyes de la ciencia más que los estudiantes de conocimientos científicos previos bajos (el tamaño del efecto observado fue grande), pero el conocimiento científico fue activado y utilizado preferencialmente cuando los estudiantes tuvieron la posibilidad de manipular los dispositivos, tal como evidenció el efecto de interacción significativo ‘Conocimiento Previo X Condición Experimental’ (los universitarios en la condición de manipular los dispositivos generaron mayor número de preguntas con contenido científico que el resto de sujetos).

El análisis dentro de la educación secundaria (capítulo 7) mostró que los estudiantes de 2º de bachillerato realizaron más preguntas en términos globales que los de 4º de ESO. En particular, los estudiantes de 12º grado generaron una mayor proporción de preguntas hipotético-predictivas que los estudiantes de décimo grado. Sin embargo, aunque los estudiantes de 12º grado obtuvieron mayores valores medios que los estudiantes de 10º grado para las preguntas que contienen términos científicos, la diferencia no fue significativa.

Conclusión General 5

Los resultados obtenidos en nuestros estudios empíricos alertan sobre el desarrollo de competencias en los estudiantes para aplicar lo que han aprendido en las aulas de ciencias a los problemas reales. Incluso al final de la educación secundaria, los estudiantes parecen tener serias dificultades para representar la realidad mediante el uso de la ciencia. Y entre los universitarios, aunque fueron capaces de activar más conceptos, leyes y principios científicos para determinar sus obstáculos de comprensión que los alumnos de secundaria, utilizaron su conocimiento científico de una manera pobre, por lo general sólo en una idea. Escasamente incluyeron ideas científicas completas que involucrasen la activación de modelos científicos completos en sus preguntas. Por ejemplo, una pregunta central para intentar avanzar en la comprensión del funcionamiento del doble cono, como: "*¿Cuál sería la relación entre los tres ángulos de modo que el centro de masa del doble cono baje mientras rueda por la rampa*"? nunca fue formulada, como tampoco fue formulada la

siguiente pregunta relativa al funcionamiento del Ludi3n: "*¿Qu3 factor crea la fuerza de flotaci3n de Arqu3medes para que actúe sobre el diablillo cartesiano*"?

Dificultades similares fueron encontradas por Olsher y Dreyfus (1999) con estudiantes del primer ciclo educaci3n secundaria. Recientemente, Truyol y Gangoso (2012) obtuvieron resultados similares con estudiantes de f3sica universitaria. Fue dif3cil para ellos resolver con 3xito problemas de f3sica b3sica cuando el modelo f3sico del problema no estaba explicitado en el enunciado del problema, y ten3an que elaborarlo (problemas de enunciado "abierto").

Estos resultados y los nuestros muestran que la modelizaci3n cient3fica de la realidad es dif3cil de realizar, incluso para los estudiantes en los cursos de ciencia avanzada. La elaboraci3n de representaciones mentales abstractas ("modelo f3sico conceptual" o "modelo matem3tico" en t3rminos de Greeno, 1989) supone un esfuerzo notablemente mayor que la elaboraci3n de representaciones concretas, en t3rminos de objetos y eventos del mundo ordinario. Parece que el desarrollo de la competencia de representar cient3ficamente la realidad (o de relacionar la ciencia con la realidad y viceversa) se realiza m3s lentamente durante los a3os de escolarizaci3n de lo que ser3a deseable, al menos dentro del sistema educativo espa3ol actual, lo cual es un problema did3ctico que merece consideraci3n.

En segundo lugar, un conocimiento elevado fue asociado con el uso de m3s razonamientos hipot3tico-deductivo en nuestros estudiantes. Los resultados sugieren que el intento de realizar preguntas del tipo "*Qu3 pasar3a si...?*" requiere cierto nivel de conocimientos previos involucrados en alg3n esquema causal. Adem3s, la posibilidad de manipular los dispositivos pareci3 estimular, m3s que las otras condiciones experimentales, la activaci3n de esquemas cient3ficos causales asociados con obst3culos hipot3tico-deductivos, es decir, con la navegaci3n por el 'espacio del problema' que supone tratar de explicar en t3rminos de la ciencia, por qu3 los dispositivos funcionan como lo hacen. Ello apoya la conveniencia de proponer m3s actividades experimentales que vinculen la realidad al conocimiento cient3fico, no s3lo en el laboratorio escolar, sino tambi3n en los museos interactivos de ciencias, cuyo prop3sito no es tanto exhibir objetos como ideas y conceptos (Rennie y McClafferty, 1998). La libertad que las personas sienten para poder formular preguntas en estos contextos permiten dar la formaci3n solicitada a cada una y,

por tanto, son adecuados para alfabetizar científicamente a la población (Segarra, Vilches y Gil, 2008).

El sexto y último objetivo específico formulado estuvo relacionado con el anterior y se desarrolló en el capítulo 9 de esta tesis:

Analizar el contenido científico de las preguntas formuladas por los estudiantes en situaciones que implican dispositivos experimentales.

En este trabajo, mostrado en el capítulo 9 de esta Memoria (Torres, Milicic y Sanjosé, 2013), se describió el contenido de las preguntas que los estudiantes de secundaria y universitarios formularon cuando intentaron comprender dispositivos experimentales en las variadas situaciones didácticas en los que los dispositivos suelen presentarse: leer y observar imágenes estáticas como gráficos, esquemas, etc., leer y observar imágenes dinámicas en un video o en una demostración de cátedra por ejemplo, y finalmente observar y manipular los dispositivos.

Primero, sólo un tercio, aproximadamente, de las preguntas formuladas contemplaban al menos un término científico pero sólo una cuarta parte estuvo destinada a construir una representación mental científica, es decir, contenía alguna idea completa de naturaleza científica (es decir, una relación entre dos o más conceptos científicos o entre un concepto científico y otro del mundo ordinario). Los conceptos más frecuentes fueron “presión”, “peso”, “velocidad”, “fuerza”, “ángulo” que son también de uso frecuente en los ámbitos ordinarios de la vida social. Sin embargo, los principios y leyes de la ciencia, que deben ser utilizados para explicar los dispositivos, aparecieron en porcentajes muy pequeños, casi despreciables en las preguntas incluso de los universitarios. Tal es el caso del “principio de Arquímedes” en el Ludión, y del “principio de Mínima Energía Potencial” en el Acróbata o doble-cono.

Segundo, fue muy preocupante encontrar, incluso entre los universitarios, ideas claramente erróneas desde el punto de vista científico, e incluso algunas ideas de naturaleza animista (en los alumnos de secundaria).

Conclusión General 6

Consistentemente con lo expresado en la conclusión general 5, el contenido científico de los obstáculos de comprensión de los estudiantes es pobre, y no incluye con la frecuencia esperable, los principios y leyes de la ciencia. Así mismo, los estudiantes manifiestan errores conceptuales que, al menos entre los universitarios de ciencias, deberían haber desaparecido tiempo atrás. Ello activa una señal de alarma entre los profesores y obliga a meditar sobre la eficacia de los métodos de instrucción habituales, que hacen poco énfasis en los errores conceptuales e ideas alternativas de los estudiantes. La acumulación de cursos y años de estudio no corrige, por sí misma, dichos errores.

El modo en que cada alumno formula sus preguntas es un buen indicador de qué tipo de esquemas conceptuales activa en su memoria y cuál es su contenido. Es labor de los profesores ayudar a los estudiantes a realizar la transición desde una representación modelo de la situación (Kintsch, 1998), fundamentada en objetos y hechos en términos del mundo ordinario, a una representación modelo científico (Greeno, 1989; Gangoso, 2004), basada en modelos sobre la materia y en fenómenos utilizando términos abstractos como conceptos, leyes y principios científicos.

10.2.-Problemas abiertos y perspectivas de futuro

Aunque en esta investigación se ha dado cumplimiento razonable a los objetivos planteados, hemos encontrado un conjunto de aspectos que se han mostrado especialmente difíciles en esta investigación y merecen más atención y profundización:

1.-Dificultades para categorizar con fiabilidad alta las preguntas de los estudiantes. La variedad en las formulaciones lingüísticas y el hecho de que muchos estudiantes cuidan poco sus formas de expresión, hace difícil en ocasiones entender la naturaleza concreta de su pregunta. Esto se hizo especialmente presente en la clasificación de obstáculos causales, bien como preguntas explicativas (tipo “por qué...?”), bien como preguntas hipotéticas (del tipo “qué pasaría si...?”), como se recogió en el capítulo 7. Por ejemplo, la pregunta: “*¿El líquido en la botella, tiene que ser necesariamente agua?*”

suscita la duda de si el estudiante está intentando justificar por qué el líquido usado en el estudio es agua, o si está intentando pensar qué pasaría si en vez de agua fuera otro líquido. Se decidió usar un criterio adicional para desambiguar estos casos: se decidió clasificar como preguntas hipotético-deductivas solamente las preguntas que mencionaran nuevos elementos o cambios concretos en la configuración de los dispositivos de una manera explícita. Por ejemplo, la pregunta: “*¿El líquido en la botella es necesariamente agua o puede ser leche o aceite?*”, sería interpretada como equivalente a: *¿Qué pasaría si el líquido de la botella fuera leche o aceite?*, porque los nuevos elementos sugirieron que el estudiante estaba tratando de ir más allá del funcionamiento observado del dispositivo. Sin embargo, la pregunta: “*¿El líquido en la botella, tiene que ser agua?*”, sería considerada equivalente a “*¿Por qué el líquido en la botella tiene que ser agua?*”.

En todo caso, habría que tratar que el procedimiento limitara tales ambigüedades, por ejemplo pidiendo a los propios sujetos que matizaran la naturaleza de este tipo de preguntas.

2.-Igualar variables distractoras en la investigación (*ceterisparibus*) y controlar otras variables.- Considerar distintas situaciones en las que los dispositivos aparecen en las clases de ciencias, y respetar al mismo tiempo el procedimiento para estimular las preguntas de los estudiantes, resultó en el capítulo 7 en diferencias no deseadas entre condiciones: a) los estudiantes no pudieron manejar la visualización del funcionamiento de los dispositivos en el DVD a su antojo en dicha condición experimental, a diferencia de las otras condiciones; b) los estudiantes de la condición experimental de manipulación formularon sus preguntas oralmente, en lugar de por escrito como en el resto de condiciones. Estas deficiencias se subsanaron en el experimento mostrado en el capítulo 8.

Por su parte, el conocimiento previo se supuso asociado con el nivel académico. Esto debería ser correcto si no existiera gran variabilidad en las aulas de ciencias de los centros educativos, algo que no podemos asegurar que no pase. En todo caso, en un estudio más minucioso, la formación científica inicial de los participantes dentro del mismo nivel académico debería medirse a través de una prueba específica.

En el desarrollo de esta investigación hemos encontrado otros aspectos de interés que han tenido que ser pospuestos para posteriores investigaciones:

1.-Propuesta y validación de una propuesta didáctica que estimule las preguntas de los estudiantes y las integre en una secuencia de actividades, con el objetivo de desarrollar ciertas competencias científicas. En nuestra investigación se ha vislumbrado que la competencia científica para modelizar la realidad a partir de la ciencia, (es decir, activar esquemas científicos para describir, comprender y predecir la realidad) presenta un escaso desarrollo (o un desarrollo muy tardío). La generación de preguntas es el estadio inicial de cualquier aprendizaje creativo que requiera tareas de indagación, como propone *Inquiry Learning*, y por ello debería integrarse en cualquier propuesta didáctica. Sin embargo, en la presente investigación no hemos abordado una propuesta didáctica que, estimulando las preguntas, guíe a los estudiantes hacia la comprensión “navegando inteligentemente por el espacio del problema del aprendizaje”. Una propuesta validada de este tipo sería el complemento necesario de la presente investigación.

2.-Procedimiento para dar respuestas a las preguntas formuladas por los estudiantes. Uno de los problemas presentados en esta investigación fue que no se debía responder las preguntas que los estudiantes formulaban para no alterar la condición *ceterisparibus* de los experimentos. Por consiguiente, no fue posible estudiar el proceso de avance hacia la meta a medida que los sujetos superaban los obstáculos de comprensión, en términos del modelo Obstáculo-meta (Ishiwa, Sanjose y Otero 2012). Sin embargo, un procedimiento didáctico adecuado debería determinar qué respuesta se debe dar a cada pregunta para estimular el avance por el espacio del problema hasta el siguiente obstáculo “sin transportar al alumno hasta la meta directamente”.

Una investigación próxima debería dedicarse precisamente al desarrollo de un protocolo de interacción con los estudiantes a partir de sus preguntas, de modo que se les ayude a superar los obstáculos de comprensión (se les guíe en un proceso indagatorio) sin proporcionarles toda la explicación (transmisión del conocimiento ya elaborado). Un procedimiento de esta naturaleza podría ser la base de una propuesta didáctica más completa.

3.-Proponer y validar un procedimiento didáctico para estimular preguntas y optimizar el aprendizaje en museos interactivos de ciencias. En la presente investigación no fue posible realizar un estudio empírico en un museo de ciencias (no se obtuvieron los permisos). El interés en este tipo de actividad museística, radica en la

interactividad; en la manipulación de los dispositivos didácticos mostrados. Santacana y Serrat (2008), consideran que: 1) la interactividad, al diversificar la información, refuerza el aprendizaje, 2) la interactividad desarrolla la capacidad de resolver los problemas de la vida real, 3) la interactividad permite el desarrollo de la observación fenomenológica, entre otros aspectos. Los museos de ciencia pueden ser elementos importantes tanto de aprendizajes informales, como de aprendizajes no-formales. En este segundo caso, parece interesante optimizar el rendimiento didáctico de los museos dados los efectos positivos procedentes de la manipulación interactiva de los dispositivos, mostrados en esta tesis.

En resumen, las preguntas de investigación que se plantean aquí para abordar en el futuro próximo pueden resumirse así:

1) ¿Cómo promover en los alumnos la construcción de modelos científicos para explicar la realidad? Las preguntas son un observable de este proceso;

2) ¿Cómo utilizar las preguntas formuladas por los estudiantes para facilitar el aprendizaje en museos interactivos y centros de ciencia?

Esperamos poder dar respuesta a alguna de todas estas preguntas en futuras investigaciones para contribuir al conocimiento científico sobre los mecanismos cognitivos que son responsables de la comprensión (e incomprensión) de las ciencias experimentales.

ANEXOS

ANEXO I

Ejemplos de Preguntas
Asociativas, Explicativas e
Hipotético-Predictivas

ANEXO I.

I.1. EJEMPLOS DE PREGUNTAS ASOCIATIVAS

SUJETO	NIVEL ACADÉMICO	EJEMPLO PREGUNTA	CONDICIÓN EXPERIMENTAL
Teresa	4 ESO	¿Cómo serían las guías convergentes?	Lectura de Texto
1	4 ESO	¿Tiene algo que ver el material utilizado?	DVD
16	4ESO	¿Tiene aire ahí dentro de la tapa?	LAB
30	2doBach	¿Cuál ha de ser la inclinación de los conos (para que suba, o no?)	DVD
21	2doBach	¿El tamaño de los palos o bases influya?	LAB
5	10 GRADO	¿Tiene que ser con un doble cono?	DVD
33	10 GRADO	¿Si el ángulo de inclinación del plano fuera más grande, también subiría?	LAB
1		¿En que influye la gravedad?	LAB
Leidy Johana Ortiz Morales	10 GRADO	¿De que medidas son (las guías)?	LEER TEXTO +IMAGEN ESTATICA
ANDREA JARAMILLO	10 GRADO	¿Cuál es la función de la plastilina pegada en la pestaña de la tapa?	LEER TEXTO +OBSERVAR IMAGEN DINAMICA
2	UNIVERSIDAD	¿Al apretar la botella que pasa con el oxígeno que esta dentro de la tapa?	LAB
3	UNIVERSIDAD	¿Cuál es la mínima convergencia de los rieles para que el trepador del experimento suba por estos?	DVD
SANTIAGO	UNIVERSIDAD	¿El diablillo se hunde o se queda flotando?	LEER TEXTO + OBSERVAR IMAGEN ESTATICA
WELMER	UNIVERSIDAD	¿De que material esta hecho el doble cono?	LEER TEXTO +OBSERVAR IMAGEN DINAMICA

Tabla 1. Ejemplos de preguntas Asociativas.

ANEXO I.

I. 2. EJEMPLOS DE PREGUNTAS EXPLICATIVAS

SUJETO	NIVEL ACADÉMICO	EJEMPLO DE PREGUNTA	CONDICIÓN EXPERIMENTAL
Teresa	4 ESO	¿Por qué cuando apretamos la botella el diablillo cartesiano se hunde, y cuando dejamos de apretar vuelve a flotar?	Lectura de Texto
9	4ESO	¿Por qué sube el doble cono, si está sobre algo inclinado, y sin ninguna ayuda?	DVD
15	4ESO	Lo que no entiendo, ¿es esa cosa porque sube?	LAB
28	2doBach	¿Por qué si se deja de ejercer presión sobre la botella el la tapa de boli vuelve a subir?	DVD
19	2doBach	¿Sube por la energía cinética que va adquiriendo con la velocidad?	LAB
30	10 GRADO	¿Por qué al apretar el contenido se hunde?	DVD
18	10 GRADO	¿Por qué sube el doble cono, sin ayuda de un motor o alguna otra fuerza?	LAB
Leidy Jhoana	10 GRADO	¿Qué hace que el acróbata trepador ruede hacia arriba?	LEER TEXTO +IMAGEN ESTATICA
17	10 GRADO	¿Por qué al hacerle presión a la botella se baja la tapita?	LEER TEXTO +OBSERVAR IMAGEN DINAMICA
2	UNIVERSIDAD	¿Tiene importancia primordial el que sea un cono doble y no otra forma, para que el cono ascienda?	LAB
13	UNIVERSIDAD	¿Cómo influye el ángulo de separación de las guías en la velocidad de subida del doble cono?	DVD
Jhon M	UNIVERSIDAD	¿Por qué la presión que ejerce con la mano es la responsable de que el diablillo suba?	LEER TEXTO + OBSERVAR IMAGEN ESTATICA
Julio Cesar	UNIVERSIDAD	¿Por qué el acróbata rueda hacia arriba cuando se modifica la configuración de las guías?	LEER TEXTO +OBSERVAR IMAGEN DINAMICA

Tabla 1. Ejemplos de preguntas Explicativas.

ANEXO I.

I. 3. EJEMPLOS DE PREGUNTAS HIPOTÉTICO-PREDICTIVA

SUJETO	NIVEL ACADÉMICO	EJEMPLO DE PREGUNTA	CONDICIÓN EXPERIMENTAL
Nuria	4 ESO	¿El objeto tiene que ser necesariamente un doble cono?	Lectura de Texto
	4ESO	¿Si en vez de agua la botella tuviera otra clase de liquido que reacción tendría? ¿Qué pasaría si no se tapa el recipiente?	DVD
	4ESO	¿Qué ocurriría si el ángulo de inclinación del plano aumentara?	LAB
29	2doBach	¿Si la rampa fuese mas pronunciada, se produciría el movimiento hacia arriba del doble cono con las guías convergentes?	DVD
26	2doBach	¿Qué pasaría si se quita el tapón?	LAB
	10 GRADO	¿Si el diablillo cartesiano no tuviera plastilina se hundiría también?	DVD
20	10 GRADO	¿Si le disminuyera la cantidad del líquido, el diablillo bajaría al fondo de la botella?	LAB
LF	10 GRADO	¿Si el doble cono es de un material mas pesado también subiría?	LEER TEXTO +IMAGEN ESTATICA
AJ	10 GRADO	¿Pasaría lo mismo con agua, con gas o en su defecto gaseosa (<i>soda</i>)? ¿Si estuviera destapada la botella que sucedería?	LEER TEXTO +OBSERVAR IMAGEN DINAMICA
19	10 GRADO	¿Si no hubiera aire o sea si la botella estuviera totalmente llena de agua seguiría la misma reacción?	LAB
31	UNIVERSIDAD	¿Qué pasaría si en vez de un doble cono se tiene una esfera?	LAB
	UNIVERSIDAD	¿Qué pasaría se en vez de agua fuera otro liquido con diferente densidad el que se sumergiera?	LEER TEXTO + OBSERVAR IMAGEN ESTATICA
	UNIVERSIDAD	¿Qué pasaría si no estuviera tapada la botella? ¿Qué pasaría si el fluido fuera más o menos denso, más ó menos viscoso?	LEER TEXTO +OBSERVAR IMAGEN DINAMICA

Tabla 1. Ejemplos de preguntas Hipotético-predictiva.

ANEXO II

Algunas Entrevistas Realizadas a los Estudiantes en la Validación del Modelo Obstáculo-Meta

EJEMPLOS DE PROTOCOLOS EXTRAIDOS DE LAS ENTREVISTAS A LOS SUJETOS PARTICIPANTES

Introducción

Se realizaron dos sesiones con una tarea distractora intermedia. En la **sesión 1**, 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. Los sujetos fueron llevados uno a uno a un laboratorio en donde se habían montado los dispositivos. Cada estudiante fue asignado a una condición experimental distinta: comprender para ser capaz de, a) *explicar*, o b) *diseñar* los dispositivos. Una vez en el laboratorio, se entregó una hoja con las instrucciones detalladas que se leyeron en voz alta por uno de los investigadores, y una hoja en blanco para que cada sujeto escribiera sus preguntas. 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 o diseñar ese dispositivo. Luego se repitió el procedimiento con el otro dispositivo. El orden de presentación de los dispositivos fue contrabalanceado para cada sujeto y condición experimental. Se recogieron las preguntas de cada sujeto y se dejó un tiempo de descanso (10-15 min).

La **sesión 2** comenzó tras ese tiempo de descanso. Se entregó al sujeto la hoja con sus preguntas, y delante de los dispositivos se le pidió que explicara la razón por la cual había formulado cada una de las preguntas. 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; 3) dar la oportunidad de generar nuevas preguntas y darles respuesta. Antes de contestar las preguntas formuladas, se invitó al/a la estudiante a manipular con toda libertad los dispositivos para tratar de contestarlas por sí mismo/a. No se impuso límite temporal a cada participante y se finalizó cuando el alumno consideró que ya tenía toda la información necesaria.

Finalizada esta fase, se entregó una hoja en blanco al sujeto 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.

Entrevista 1.

Sujeto #21: “Josel”. Licenciatura en Física, 3er semestre. Materia: electricidad y magnetismo (Física II).

Condición Experimental: “Diseñar el dispositivo”

Sesión 1

-Número de preguntas formuladas: 8

-Incluyendo conceptos científicos: 1 (12.5%)

-Preguntas Asociativas: 4 (50.0%)

-Pidiendo valores particulares de parámetros: 4 (50.0%)

-Preguntas Explicativas, causales del tipo “Por qué...?": 0 (0.0%)

-Preguntas Hipotético-predictivas del tipo “Qué pasaría si...?": 3 (37.5%)

-Otras (no sobre el funcionamiento de los dispositivos): 1 (12.5%)

Sesión 2

Dispositivo: Acróbata (doble cono)

A.- Transcripción de la entrevista oral

Segmentos de información verbal proporcionada por el sujeto	Acciones (información no verbal)
<p>P: Usted preguntaba en el acróbata... “¿Cuáles son las características físicas de los objetos que ruedan sobre el plano?” A mí, me costó entender un poco cuál es el significado de la pregunta. Cuando se refiere a las características físicas, ¿se refería usted a la geometría?...</p> <p>A: Sí, a la masa, la densidad...</p> <p>P: ¡Ah! dígalo, dígalo claro.</p> <p>A: Sí, la masa de cada objeto, la densidad, la forma, la característica geométrica.</p> <p>P: A ver qué le puedo decir sobre la masa del Doble Cono... Si es más pesado o menos pesado, no lo hemos controlado al fabricarlo; le hemos pedido a un tornero que realice un doble cono resistente. Este pesará unos 700 gramos.</p> <p>En particular, ¿Qué le interesaba del objeto?... de este objeto, ¿también le interesa saber algo del rodillo?</p> <p>A: Igual la masa y ya [<i>con la masa es suficiente</i>].</p> <p>P: El rodillo de amasar tiene aproximadamente trecientos gramos. Simplemente buscábamos... demostrarles a ustedes que efectivamente rueda hacia abajo porque sigue habiendo un plano inclinado en esta dirección, ¿no es cierto?</p> <p>A: Sí señor.</p> <p>P: En cuanto a la densidad, lo que le interesa saber, -me imagino-, más que valores numéricos es si los objetos rodantes son homogéneos o no, ¿verdad?</p> <p>A: Ahh!!! ! Exacto!</p>	<p><i>Pide características concretas</i></p> <p><i>Pone a rodar el rodillo por el plano inclinado.</i></p> <p><i>Toma el doble cono. Toma el rodillo.</i></p>

<p>P: Sí, buscamos objetos homogéneos. Este (un doble cono) está hecho de madera, de un trozo de madera, y este (otro doble cono) también.</p> <p>¿Alguna otra característica física?</p> <p>A: Que tan... pues, qué tanto influye el ángulo.</p> <p>P: ¡Ah! Es una pregunta interesante. ¿Por qué cree usted que es importante saber el ángulo?</p> <p>A: Pues...</p> <p>P: Usted tiene una intuición...</p> <p>A: Más o menos. No lo trabajé mucho, no mucho pero sí, esto tiene que influir en algo. O sea, si esto es más corto (se refiere a la longitud de uno de los conos), esto no se abre tanto (se refiere a la otra dimensión que es el diámetro del cono). No sé, algo así más o menos.... No he entrado en muchos detalles en el experimento pero, algo así más o menos.</p> <p>P: usted estaba hablando de que puede haber una relación entre este ángulo (el del cono) y otros ángulos...</p> <p>A: Sí, el ángulo de abertura.</p> <p>P: El ángulo de abertura, muy bien. Ó sea que usted piensa que en el diseño del aparato hay alguna relación entre este ángulo y éste.</p> <p>Este ángulo es uno (el del cono), este ángulo es otro (abertura), y usted intuye que para que el dispositivo funcione, este ángulo del cono debe estar relacionado con el ángulo de abertura de las guías.</p> <p>A: Sí...</p> <p>Y ¿Alguna otra cosa?</p> <p>A: Pues, por ejemplo la altura de los soportes (de las guías), porque es la que forma ya el plano inclinado.</p> <p>P: ¡Ah! el plano inclinado.</p> <p>A: Sí, el plano.</p> <p>P: ¿Que tiene que ver el plano inclinado con el diseño? ¿Es decir, algún parámetro del plano inclinado quizás?</p> <p>A: No se, pues la abertura.</p> <p>P: Usted, no sé si hizo alguna pregunta sobre la inclinación del plano inclinado... ¡Ahí! sí esta es la pregunta que Vd. hizo “¿Cuáles son las dimensiones?” Bueno, ¿por qué le interesa a usted saber cuáles son las dimensiones de estos dos soportes del plano inclinado?</p> <p>A: Una [razón] es por geometría. Si este soporte es más grande que este, se logra un plano inclinado; si esta es</p>	<p><i>Toma el doble cono y señala el ángulo en la parte inferior (las guías)</i></p> <p><i>Señalando el ángulo inferior del doble cono, y al mismo tiempo el ángulo inferior de las guías del plano inclinado... luego pone a rodar el doble cono desde la parte inferior hacia arriba.</i></p> <p><i>Tomando el doble cono y señalando el ángulo inferior de este.</i></p> <p><i>Relacionando el ángulo del cono con el ángulo de las guías.</i></p> <p><i>Toma la hoja de las preguntas.</i></p>
---	--

mas bajita, también se logra un plano inclinado; si son iguales se obtiene un plano horizontal;

A: Si esto (los soportes) estuvieran muy bajitos) cerca de la mesa), el doble cono tocaría con el suelo (la mesa) y ya no... (funcionaría)

P: Tendríamos un problema de roce.

A: De pronto.

P: Tendríamos que elevar esto (las guías) para que impidiera que esto (la panza del doble cono) roce con la mesa.

A ver... esta es su pregunta:
 “¿en el montaje se tiene una base más alta que otra, cuales son las dimensiones?”

A: Sí, y también las (dimensiones) del doble cono...

P: Puede Vd mismo contestar la pregunta...

A: Sí, sí.

P: Puede anotarlas (las medidas) en el papel si quiere, para que luego las tenga a mano si las necesita... del mismo modo las del doble cono....

P: Recuerde lo que le dije ahora que esto (el doble cono) debe pesar más o menos como 700 gramos y que está hecho de madera homogénea.
 Necesitaba usted también “¿Cuál es la separación de los rieles antes de colocar el cono a bajar?”, pues bien, tráigase aquí el flexometro....

A: Más o menos 3cm.

P: Esta pregunta, ¿por qué le pareció relevante?

A: Ah, porque, si es así en ese ángulo el objeto va a rodar como rueda (guías paralelas). En cambio así (guías convergentes)... el objeto sube.

P: Le parece a usted fundamental, uno de los parámetros del diseño, esta separación de los rieles cuando están en paralelo...

A: Sí.

P: Muy bien. Y luego, claro, la relación que hay entre esta distancia (señalando las guías) y las dimensiones del doble cono; porque si el doble cono es muy chiquitín, claro, se cae.

A: Eso.

P: Me imagino que Vd también preguntaba, cual es la separación cuando se pone el cono a rodar hacia arriba por la rampa...

P le entrega al alumno un flexometro.

El alumno mide los dos soportes.

A se retira y anota las dimensiones del plano y las dimensiones del doble cono.

El profesor coloca las guías en paralelo.

A procede a medir la separación de éstas.

Pone a rodar el doble cono hacia abajo por las guías paralelas, y seguidamente el rodillo; luego mueve las guías y las dispone de manera convergente, y pone a rodar hacia arriba el doble cono.

P separa las guías de forma convergente.

A toma las medidas de las guías

<p>A: Si...</p> <p>P: Perfecto, ¿necesita saber algún otro parámetro? ¿Le parece a usted que la longitud de las guías no tiene ninguna otra consecuencia en el diseño?</p> <p>A: No...</p> <p>P: Okey, ya está entonces. Ahora que tiene las respuestas a las preguntas hechas, le pediría a usted que escribiera con sus propias palabras el diseño del dispositivo.</p> <p>A: Muy bien.</p> <p>P: ¿Tiene alguna otra pregunta?</p> <p>A: No.</p> <p>P: Muy bien.</p> <p><u>Información Adicional (tras la escritura del reporte)</u></p> <p>P: Permítame una información adicional. Si yo le preguntara a usted, cual es la razón por que el dispositivo funciona...</p> <p>A: ¿Por qué baja?</p> <p>P: No, porque baja sí que lo ven ustedes en física. Más bien si yo le preguntara la razón de que el doble cono ascienda por la rampa... ¿Usted <i>a priori</i> lo sabría? Cuando usted vio el funcionamiento de esto el otro día, usted inmediatamente pensó ¡ah! ya sé por qué esto sube.</p> <p>A: Ya habíamos estudiado esto más o menos.</p> <p>P: ¿Sí?</p> <p>A: Pues la cosa es que en los cuerpos lo que baja es el centro de masa, entonces cuando se coloca con las guías en paralelo el CM baja físicamente con todo el dispositivo; pero acá cuando se coloca convergente el doble cono baja su centro de masa. En apariencia se ve que el doble cono sube, pero en realidad el centro de masa sí bajó.</p> <p>Pues yo le pregunte por las características del cuerpo por que el centro de masa viene dado por la forma, por la densidad, por ...</p> <p>P: Entonces usted lo que quería saber exactamente es si el centro de masa está ubicado en el eje de simetría del doble cono.</p> <p>A: Eso, si es uniforme entonces... se debe ubicar en el centro geométrico de este cuerpo, entonces el centro de masa sí baja; o sea, si se mira bien, vea que aquí esta a una altura mayor y cuando llega allá vea que el centro</p>	<p><i>dispuestas convergentemente y las anota.</i></p> <p><i>A: se dispone a escribir el reporte de la sesión.</i></p> <p><i>P: dispone a subir el doble cono por la rampa.</i></p> <p><i>A ajusta su línea visual con el eje de simetría y de giro del doble cono y sigue su posición a medida que el doble cono rueda hacia la parte alta de las guías</i></p>
---	--

de masa está más bajo.

P: Muy bien, está claro. O sea, si usted tuviera que hacer preguntas sobre la razón por la cual el dispositivo funciona como funciona, ¿usted no hubiera tenido ninguna pregunta, o sí?

A: Hubiera preguntado por las características del objeto, porque si el centro de masa no está en el eje, ya no hubiera sabido cómo funciona.

P: ¿Hubiera hecho Vd alguna pregunta sobre algunas características científicas, alguna pregunta relativa a las fuerzas o también lo tiene Vd claro?

A: Sí, más o menos.

P: Bueno, muy bien ya hemos acabado, muchas gracias.

A: Gracias.

B.- Análisis del Reporte final escrito por el sujeto

Transcripción de su reporte final, idea a idea

S1: Se disponen de 2 bases

S2: Una base superior cuya medida de longitud es mayor a 27.5 cm

S3: Ídem con una altura de 7.5 cm.

S4: A lo largo de su longitud debe haber 4 perforaciones;

S5: Dos que disten 13 cm...

S6: ...y otras dos que disten 27.5 cm

S7: La base inferior tiene una longitud mayor a 13 cm...

S8: ... con una altura de 4 cm y

S9: ... con 4 perforaciones:

S10: Dos que equidisten 2.3 cm y...

S11: ... las otras 2 que equidisten 13 cm.

S12: Se disponen 2 tubos de longitud L...

S13: ... de la siguiente forma: (Gráfico representando las guías en el plano inclinado, tanto en paralelo para que el doble cono suba, con cotas numéricas...)

S14: (y otro Gráfico representando las guías en el plano inclinado, en "V", para que el doble cono baje, con cotas numéricas)

Tipos de ideas en el reporte final escrito:

-Total de ideas. 14

-Ideas científicas: 0

-Ideas descriptivas: 14 (100%)

-Ideas que incluyen valores de parámetros: 12 (85.7%)

-Explicaciones: 0

-Ideas hipotético-predictivas: 0

Sujeto #28: “D C G”. Quinto semestre. Curso: Dinámica. Grado en Ingeniería Mecánica.

Condición Experimental: “Diseñar el dispositivo”

Sesión 1

- Número de preguntas formuladas: 10
 - Incluyendo conceptos científicos: 1(10.0%)
- Preguntas Asociativas: 7 (70.0%)
 - Pidiendo valores particulares de parámetros: 2 (20.0%)
 - Preguntas Explicativas, causales del tipo “Por qué...?": 2 (20.0%)
 - Preguntas Hipotético-predictivas del tipo “Qué pasaría si...?": 1 (10.0%)
 - Otras (no sobre el funcionamiento de los dispositivos): 0 (0,0%%)

Sesión 2

Dispositivo: Diablillo Cartesiano

A.- Transcripción de la entrevista oral

Segmentos de información verbal proporcionada por el sujeto	Acciones (información no verbal)
<p>P: ¿Se acuerda de las preguntas que hizo [en la sesión 1]? ¿Quiere volver a recordar? Hoy puede hacerlas con más tranquilidad... bueno es simplemente justificar las preguntas.</p> <p>Usted preguntaba lo siguiente: ¿bajo qué condiciones debería estar sometido todo el conjunto [Diablillo] para que funcione? ¿A qué condiciones se refiere usted?, ¿Condiciones de qué tipo?</p> <p>A: ¿O sea, a que temperatura?, Digamos... ¿Bajo qué modelo [se refiere a la forma geométrica de la botella], el fluido como tal hace que el dispositivo funcione?</p> <p>P: ¡Entonces, se refiere a varias preguntas! Formúlemelas de una en una, por separado, si es tan amable, ¿podría ser...? En primer lugar, ¿La temperatura?</p> <p>A: Sí, la temperatura, ¿a qué régimen de temperatura funcionaría?, ¿Qué forma [geométrica] debe tener la botella para su funcionamiento?, ¿qué características debe tener el fluido, en cuanto a la acidez?</p> <p>P: ¿Alguna otra pregunta?</p> <p>A: ¿Esto se llama “el diablillo cartesiano”?</p> <p>P: Sí, el Diablillo Cartesiano.</p> <p>A: Bueno entonces, ¿qué características tiene que tener el diablillo para que funcione bien?</p> <p>P: Bueno, usted también puede manipular todo lo que quiera, el diablillo; eso puede proporcionarle las</p>	<p>A: <i>Manipula el diablillo.</i></p>

respuestas... o yo las puedo contestar si usted quiere.
Por ejemplo, usted preguntaba por la temperatura
¿Usted cree que va a ver mucha influencia de la temperatura sobre la flotación?

A: ¡No!

P: No; entonces yo creo que éste es un parámetro que podemos apartar, porque no es algo que vaya a afectar demasiado.

A: Otra pregunta es sobre la forma del dispositivo.

P: A ver...; puedes probar en este [el investigador se refiere a otro dispositivo que está disponible]. Tiene alguna influencia que usted pueda ver.

A: ¿Tiene alguna influencia la resistencia [del material de que está construida], es decir, la forma [de la botella] de esto incide para que funcione?

P: ¿Usted se imagina que si la botella fuera muy, muy, muy gruesa, entonces sería muy difícil de ejercer la presión? Luego entonces, la forma geométrica como tal, no influye tanto, como sí el hecho de que la botella se vaya haciendo cada vez más gruesa, porque es un problema de presiones.

A: También otra cosa; digamos si el tope está en la mitad [se refiere al nivel del agua de la botella], es mucho más fácil de ejercer presión.

P: ¡Ahh!, ¡claro!

A: ¿Hay más formas de ejercer presión?

P: ¡Entonces, usted le parece que la presión es un factor importante también!

A: Sí, yo diría que si hubiera menos líquido sería más fácil [que el diablillo bajara y regresara a la superficie].

P: ¿Quiere probar?

A: ¡Sí...!

P: Usted cree que eso [la presencia de un volumen determinado de agua] tiene influencia en el diseño del dispositivo.

A: Sí.

P: Muy bien; lo que ha hecho es vaciar agua, con lo cual tenemos menos líquido y más aire dentro de la botella. Y, ahora usted quiere comprobar si esto influye en el funcionamiento del dispositivo.

P: ¿Qué nota?

A: Por lo que se ve, a menor cantidad de agua... es mucho más difícil.

P: Le señala otro dispositivo que hay en la sala, con forma de la botella diferente.

Manipula el nuevo dispositivo.

A señala el nivel del agua en la botella y luego un nivel inferior imaginario

A: Se dispone disminuir el líquido que hay dentro de la botella.

A: manipula el dispositivo, ejerciendo presión sobre él.

<p>P: Tremendamente difícil, sí, sí.</p> <p>A: No era como se pensaba, que a menor cantidad de agua sería más fácil de bajar el dispositivo.</p> <p>P: ¿Quiere usted probar con la botella quizás más llena de agua de lo que la teníamos?</p> <p>P: Sí que baja; es más sencillo cuanto más agua tiene; En cuanto al líquido, ¿qué piensa usted?</p> <p>A: Del líquido, yo pienso que depende de la resistencia que oponga, o sea, si el líquido es muy viscoso, el diablillo va a oponer mucha resistencia cuando él va a bajar; digamos si aquí hay glicerina, la glicerina lo que hace es ponerlo más viscoso, ¿cierto?</p> <p>P: Es menos viscoso. ¿Entonces qué sucedería?</p> <p>A: Me imagino que esto bajaría más rápido</p> <p>P: Pasemos a la flotación que Vd mencionó en la sesión anterior. ¿Qué es la flotación? Una cosa es el desplazamiento del objeto, cuando él sube y baja, y otra cosa es la flotación ¿Qué pasaría?</p> <p>A: ¿Que si va a flotar [no entiende la pregunta]?</p> <p>P: ¿De qué depende la flotación?</p> <p>A: ¡Depende de la densidad!</p> <p>P: ¡Ahh! No tanto de la viscosidad. Por ejemplo, en aceite de resina que es más viscoso y tiene menos densidad, quizás tendría una menor flotación. ¿Usted cree que el dispositivo funcionaría con diferentes líquidos?</p> <p>A: Se podría diseñar con diferentes líquidos pero variaría, en cuanto a la flotación como tú lo dices y también en cuanto al desplazamiento.</p> <p>P: Muy bien; si tenemos un líquido más denso, aumentamos la flotación, pero, luego sería mas difícil desplazar el diablillo, y si ponemos un líquido más viscoso, entonces habría más rozamiento; por tanto, estos factores sí que van a influir sobre el diseño.</p> <p>P: A ver que más preguntaba usted.</p> <p>A: ¿Qué características debe tener el fluido? Eso ya lo hemos visto; ¿Qué tan aerodinámico es el diablillo con el desplazamiento en el fluido?</p> <p>P: ¡Ahh! Usted estaba preocupado por el rozamiento.</p> <p>A: O sea, la forma.</p> <p>P: Sí, sí muy bien.</p> <p>A: O sea, si esto tuviera forma, por ejemplo, de una</p>	<p><i>P: manipula el diablillo también con menor volumen de agua.</i></p> <p><i>A: llena la botella de agua. Ejerce presión sobre la botella, logrando bajar con facilidad el diablillo.</i></p> <p><i>A Señala el Diablillo dentro de la botella.</i></p>
---	--

bolita, caería más fácil que, por ejemplo, una estrella que tiene como más filos; o sea es mucho más aerodinámica una esfera por su forma geométrica.
P: Claro, esta forma [la del diablillo] para subir está muy bien, para bajar, no baja tan fácil como sube en el fluido dinámico.
P: Muy bien, también le puedo responder a esa pregunta.
Pues, se han fabricado Diablillos con una esferita de linton; y sí se puede.

A: A ver, otra pregunta ¿Qué posición necesita la botella para que funcione el experimento?
P: ¡Ah! Interesante, quieres saber qué pasa cuando cambiamos de posición la botella.
A: Sí, ¿o sea, la flotación sigue siendo la misma...?

A: Bueno, ¿la flotación es independiente de la posición de la botella?, Bueno, no, no depende de la posición. Sí funciona el Diablillo, solo que el desplazamiento va a ser menor, dependiendo de la posición de la botella.

P: Otra pregunta que Vd hizo en la sesión anterior: ¿Qué tanto influye la presión en el Diablillo [para que baje y ascienda]? Bueno, ya hemos visto antes que la presión es un factor importante...

A: Sí, mucho. Me imagino que al hacer presión, la presión interna del diablillo aumenta.

P: ¿Una presión interna?

A: Sí, la presión de aquí arriba. Esa es “una” presión, pero cuando yo aprieto, aumenta la presión del sistema.

P: Aumenta la presión sobre el líquido, y sobre el aire; sí.

A: Entonces, tiende a caer, es decir, como aumenta la presión del diablillo y, además, como es menor que la presión del líquido, entonces cae,

P: Ahh! Ya entiendo lo que quiere decir; usted lo explica en términos de una presión hacia abajo y una presión hacia arriba.

A: Exactamente!

P: O sea, usted cree que el Diablillo tiene una presión interior que le hace flotar.

A: Sí.

P: manipula el dispositivo.

A: manipula el dispositivo.

A Manipula uno de los dispositivos y el diablillo se hunde y ya no regresa a la superficie.

Manipula otro dispositivo cambiándolo de nuevo de posición y funciona de igual manera.

A: Señala la parte superior de la botella.

P: Una presión “desde arriba”, vamos... ¡Hombre!, serían “fuerzas” de arriba hacia abajo y una fuerza de abajo hacia arriba. Entonces, ¿cómo cree usted que influye la presión en el diablillo? Para diseñar el diablillo usted tendría otro problema... ¿, desde luego, tendría que buscar algo que funcione con las manos!! Ahora, ¿Cómo influye la sobrepresión?

A: ¿Cómo influye la sobrepresión?

P: Lo que usted estaba diciendo, que cuando se hace una sobrepresión aumenta la presión sobre el diablillo, y entonces desciende.

A: Sí, con respecto al agua y al sistema como tal, el Diablillo, al ejercer fuerza va a descender mucho más rápido.

P: ¿Qué es una sobrepresión?

A: Es como una sumatoria de fuerzas, que la de abajo, ejerce sobre un punto exacto del recipiente, es decir, la presión sobre ese punto, entonces influye para que el diablillo caiga hacia abajo.

P: Entendido... Si tiene alguna otra pregunta antes de empezar a explicar el diseño del dispositivo... No sé, datos como cuánto pesa esto, de la plastilina, no sé si usted ya sabe la solución.

A: No sé, si depende del peso (del Diablillo), no sé si, esto fuera cerrado [la tapa del Diablillo].

P: ¿Quiere que lo hagamos?

A: Sí.

P: Por esto le sugería yo que se necesitaba hueco, es decir de una burbujita dentro de la tapa, porque de lo contrario baja. No se puede hacer con cualquier cosa, se requiere la burbuja de aire.

A: Otra pregunta ¿Cuál debe de ser la fuerza que yo le aplique a la botella para que empiece el desplazamiento?

P: No podremos calcular exactamente la fuerza, sino para cada dispositivo que construyamos; depende de la botella, depende de la cantidad de agua,...

A: No sé..., Para que el Diablillo baje, depende mucho del material que está fabricado la botella. Éste tiene que deformarse lo suficientemente cuando presionamos...

P: Por eso elegimos que sea de plástico. También mira

P: Se dispone a cambiar el diablillo.

P: Introduce un diablillo taponado (sin hueco interno) dentro de la botella y éste se hunde.

A: manipula el dispositivo.

A: No atiende mucho a esta información.

que no puede ser muy gruesa, dado que entre más ancho sea, mas difícil será la presión que hay que hacerle.

A: Bueno, yo diría que..., o trataría de explicar por qué, aquí es más difícil de hacer presión [toma una botella mas redondeada y fija un punto en la parte superior]; por ejemplo, esto es una catenaria invertida, entonces la deformación aquí es mucho menor que la deformación acá [botella de Coca-Cola, semicurva], yo diría además, que esta forma [la de la botella menos curva] no es buena para hacer el experimento, dado que se dificulta.

P: Muy bien, muy buena apreciación.

Bueno, si ya lo tienes claro, pasamos a hacer el diseño.

P: Tiene otra consideración,
A: No.
P: ¡Pues, muchas gracias!

Información adicional (tras haber escrito el reporte final)

P: ¿En caso de tener que explicar el funcionamiento.... sabría hacerlo?
A: Creo que sí.
P: ¿Intentaría preguntar algo?
A: no estoy seguro de saberlo al 100%, si hubiera preguntado qué pasa con el volumen de aire dentro del diablillo, si se hace menor o mayor...
P: Ok. Ahora se debe hacer menor.
A: Si, si.
P: ¿Está todo claro?
A: Si, si.
P: Entonces hemos acabado. Muchas gracias.

A: Se dispone a escribir el reporte final escrito sobre la sesión.

B.- Análisis del Reporte final escrito por el sujeto

Transcripción de su reporte final, idea a idea

S1: Parámetros a tener en cuenta: Forma del Recipiente

S2: Fluido del líquido para un mejor resultado, cantidad de dicho líquido, color, características.

S3: Características del diablillo cartesiano (forma y peso).

S4: Para el diseño del diablillo cartesiano voy a tener en cuenta que la forma del recipiente debe de ser tal que no presente mucha resistencia al ejercer presión,

S5: Por lo tanto debe de tener una forma libre de concavidades en la parte superior (ya que esto distribuiría mejor las fuerzas al ejercer presión),

S6: recipiente transparente para ver su funcionamiento, lo suficientemente elástico, pero a la vez resistente.

S7: El fluido líquido sería agua pura ya que cumple con las características necesarias (transparente, densidad adecuada, libre de contaminantes y poco viscosa).

S8: El diablillo sería menos denso que el agua,

S9: con una geometría cilíndrica, con un agujero no pasante, para que sea hidrodinámica, y además que pueda albergar una columna de aire.

S9: se realiza un dibujo del diablillo como un rectángulo, punteando una parte de su interior que refleja un agujero.

S10: Dibuja el recipiente en forma de botella, marcando el nivel del agua y escribe sobre esta H₂O.

S11: Podría emplearse agua a mayor temperatura que la temperatura ambiente,

S12: Para que sea menor la presión que se le ejerce al recipiente.

Tipos de ideas en el reporte final escrito

- Total de ideas: 12

-Ideas científicas: 5(41.7%)

-Ideas descriptivas: 12(100.0 %)

-Ideas que incluyen valores de parámetros: 0 (0.0%)

-Explicaciones: 0 (0%)

-Ideas hipotético-predictivas: 0 (0.0%)

Sujeto #3: "Alex.Ram". Física 4to semestre. Curso: oscilaciones y ondas (física III)

Condición Experimental: "Explicar el funcionamiento del dispositivo"

Sesión 1

- Número de preguntas formuladas: 17
- Incluyendo conceptos científicos: 4 (28.6%)
- Preguntas Asociativas: 4 (28.6%)
 - Pidiendo valores particulares de parámetros: 0 (0%)
- Preguntas Explicativas, causales del tipo "¿Por qué...?": 6 (35.3%)
- Preguntas Hipotético-predictivas del tipo "¿Qué pasaría si...?": 7 (41.2%)
- Otras (no sobre el funcionamiento de los dispositivos): 0 (0.0%)

Sesión 2

Dispositivo: Acróbata (doble cono)

A.- Transcripción de la entrevista oral

Segmentos de información verbal proporcionada por el sujeto	Acciones (información no verbal)
<p>P: Usted preguntaba sobre varios aspectos... Usted tenía que pensar y escribir, explicar el funcionamiento. Entonces, si no se ponen las líneas en paralelo, me imagino que esto quiere decir: ¿qué sucede?</p> <p>A: Sí, lo que pasa es que...., mire usted....</p> <p>P: ¿Se refiere usted a esto inicial [alude a la inclinación]?</p> <p>A: Claramente, lo que pasa es que al principio parece realmente un truco.</p> <p>P: Sí, ¿eso cree usted?</p> <p>A: Yo pensé, que era más un truco físico, por la siguiente razón: aquí hay un plano inclinado, ¿Cierto? Y ustedes tienen una elevación allá. Entonces, cuando uno pone algo en una rampa lógicamente tiende a descender. Ustedes lo que hicieron fue lo siguiente: separaron las dagas [guías] y aquí las cerraron.</p> <p>P: ¡De acuerdo!</p> <p>A: Y, aquí [parte inferior del plano] las cerraron de esta manera [Convergentes].</p> <p>P: Sí, sí, sí.</p> <p>A: Y, allí es cuando esto empieza a subir. Lo que yo pienso es, que esto permite ayudarlo de alguna manera a hacer que esto suba porque igual sigue habiendo la misma inclinación.</p> <p>P: ¡Ah! Ja, ja. Entonces la pregunta...., A ver, si yo voy entendiendo bien. Si no se puede hacer bien un paralelo, esto que vamos hacer ahora.....</p> <p>A: ¡Ah! Ja, ja. ¿Qué pasaría? ¿También sube en este</p>	<p><i>Se ubica el dispositivo correctamente. El investigador se refiere a calificar las preguntas formuladas.</i></p> <p><i>Se refiere a la parte más alta del plano.</i></p> <p><i>Se refiere a la convergencia</i></p> <p><i>Junta las guías de forma convergente y pone a subir el acróbata desde la parte inferior.</i></p>

caso?

P: Ah... ahora tienes tu toda libertad para hacerlo

A: ¡Umm! No sube en este caso.

P: No parece.

A: Si estuviera más separado, pues tampoco subiría en este caso.

P: Claro, de hecho, cuando lo ponemos así, al contrario no solamente que suba, sino que realmente...

A: ¡Baje!

P: ¿Baje?

A: Sí, baje.

P: Muy bien, ¿sí?, ¿Usted ve que hay una necesidad de que las guías estén iguales?

A: Sí.

P: Efectivamente.

A: Generalmente pasa eso.

P: Luego, te preguntabas sobre, ¿porque es necesario abrir los ángulos en la parte superior?

A: ¿Porque hace eso?

P: ¿Por qué es necesario?

A: Pues, lo que yo puse... Pues, allí influyen tres cosas:

1) el diseño de esto y la parte en la que están aquí cerradas. Note que igual, eso allá está como muy cerrado y esto tiene como un diseño específico. Por eso la pregunta siguiente: ¿esto de cierta manera debe estar como un poquito cerrado y eso hace como que tienda a moverse y yo pensé que podía subir, por la forma del ángulo cerrado?

P: Ah! Tienes razón, ¿seguro que es un ángulo suyo?

A: Sí.

P: Se me había olvidado este. ¿Cuando hablo del diseño del doble cono a que..., a que estructura, a que parámetro, a que se refiere?

A: Lo que pasa es que mire, generalmente hay formas geométricas muy específicas que cumplen unas propiedades y en este caso la física se hace específicamente con esto. ¿Si yo pusiera una esfera por ejemplo,... una esfera..., subiría?

P: ¿Cuál es su proyección?

A: ¿Una esfera o un círculo, subiría generalmente igual? Entonces, allí habría... una diferencia...

P: ¿Usted cree que sí subiría?

A: No, no lo sé con exactitud.

P: ¡Sí sube!

A: Sí, en este caso si sube.

P: Bueno, entonces eso..., sin embargo, el rodillo no.

A: ¿El rodillo?

P: El rodillo si lo deja acá [parte superior del plano],

El investigador cambia el punto de convergencia

Pone las guías en paralelo y suelta a rodar el acróbata desde la parte superior de la rampla.

El estudiante se refiere específicamente a la convergencia de las guías.

El sujeto pone a rodar la esfera desde la parte inferior de las guías, estando estas de forma convergente.

Pone el rodillo desde la parte inferior de las guías; luego lo pone a rodar desde la parte

P: ¿Es especial?. Entonces, ¿qué es lo que caracteriza el diseño del cono, además de que este equilibrado, que tenga su centro de masas, etc.?

A: ¿Qué es un objeto simétrico?

P: Eso también. ¿Y, que diferencia un doble cono de otro?

A: El tamaño de este, de esta circunferencia.

P: ¿Tú crees en realidad?

A: Sí, es el ángulo acá.

P: Eso es, eso es. Entonces ese ángulo debe tenerlo acá.

A: Generalmente es el ángulo acá, porque si pusiéramos uno más corto o más grande.....

P: Vamos a sacar uno de acá. vamos a ponerlo

A: ¡De acuerdo!

P: ¿Usted cree que funciona?

A: Sí, tiene un ángulo más...

P: Uno llega a fabricar este cacharro, con dos embudos de plástico.

A: ¡Ah! Ja, ja.

P: Pegados.

A: Muy chévere.

P: Sí, sí, con dos embudos también funciona. Así parece más..., así, más sofisticado pero, funciona con dos embudos. Entonces acá, acá eh... el hecho de que esto sea un doble cono y no sea un cuadrado u otro..., incide.

A: Sí, pero...

P: Y, es lo que estábamos hablando de que el diseño aun es incipiente. Este ángulo, el hecho de que aquí hay un ángulo y...

A: ¿En este caso?

P: Aquí no lo hay. El hecho de que aquí haya un ángulo y aquí no lo hay, debe ser esencial [se refiere al ángulo del doble cono]

A: ¡Ahh!.. Ja, ja.

P: La esfera no tiene un ángulo constante, pero tiene un ángulo variado, como si fuera un polígono de distintos lados porque es así. Entonces el ángulo de la esfera va variando pero en todo caso no es constante como..., ¿entiende?, y, la esfera funciona y esto funciona

A: ¡No funciona!

P: Ese tiene que ver... Este tiene que ver....

A: También tiene que ver.

P: ¡Sí!

A: Allí sería la inclinación.

P: ¿Usted cree que tiene que ver los dobles conos?

A: Pues, uno lo pensaría en la tercera dimensión. Se

Específicamente se refiere al radio de la base.

Coloca el doble cono, y observa como rueda.

Se explicita la forma constructiva del objeto

P: Señala y manipula tanto el doble cono, como el rodillo. Está refiriéndose a los ángulos.

Señala el Angulo formado entre el eje y un extremo del radio

supone que estamos en el mundo 3d, entonces debería tener un ángulo de inclinación que sería en este caso, este,

P: ¡Umm!

A: Se refiere al ángulo de abertura.

P: ¡Umm! Muy bien.

A: Y, el ángulo de este otro también. ¿Es correcto?

P: Estoy seguro. Hay cosas que es preciso considerar.

A: Pero, ¿Qué podría ser?

P: Sí, pero no es tan fácil, pero por ahí va el tema. Si uno pretende que esto suba, ¿pero cierra el embudo...?

A: Desciende.

P: Sí, ¡eh!, ¿Eleva el ángulo?

A: ¡Baja!

P: Baja. Efectivamente, ¿si el doble cono no tuviera este ángulo?

A: Tampoco sube.

P: Entonces tiene una relación, una relación que usted se puede entretener tratando de modelar.

A: ¡Sí!

P: Entonces. Ahora mismo nos interesa mucho.

A: ¡Sí!

P: Entonces, eh... con esto en mente, con esta pista dice la pregunta y contestamos ¿Qué ocurre si cambiamos las dimensiones?, las dimensiones que nos referimos es a este ángulo [ángulo de inclinación y convergencia]

A: Sí, hay ángulo, hay ancho, hay largo....., etc.

P: ¿Usted cree que subirá con más aceleración, cuando el ángulo lo ubique o cuando el ángulo disminuya?

A: ¿Cuando el ángulo tiende a disminuir?

P: El ángulo del que hablo, me refiero a que se parezca más a un cilindro, es decir, casi plano. Es decir, que sea cada vez más pronunciado.

A: ¡No! Yo pensaría que cuando el ángulo aumente; en este caso tendríamos un cilindro, si tendemos a disminuirlo cada vez más.

P: Eso es, en este caso el hecho de que ascienda, aumentará con el ángulo del cono. Esta es la dimensión a la que usted se refiere; la otra dimensión que es esta...

A: El largo, porque también algo que yo pensaría, es si es mucho más grande, hay más continuidad.

P: ¿Qué cree usted que pasaría?

A: Si usted dice que solo es por cuestión de los ángulos....

P: Eso tiene que ver.

A: Sí; entonces en este caso, no importa que tan largo sea el experimento con tal que tenga los ángulos

Manipula las guías y cierra el ángulo del plano, con las guías. Eleva las guías. Por encima de su altura.

Señala el Angulo de inclinación del doble cono.

Se refiere al Angulo de inclinación.

Señala un punto específico del doble cono.

Al decir que tan largo se refiere a las guías.

adecuados con el sistema y con los tamaños de los orificios.

P: Eso es, usted sabe cuándo estudia el plano inclinado en física elemental que nunca se habla del objeto en el plano.

A: ¡Ahh! No, para nada.

P: Bueno, no quiere saber de la aceleración, no quiere saber de la fricción, . . . , acá pasa lo mismo, entonces claro, en el mundo real, llega un momento que el objeto se queda por el medio, y le tienes que añadir un eje para que llegue.

A: Sí, sí.

P: ¿Y, si en lugar de poner un cono pongo un cilindro que pasaría?

A: Sí, no sube por el ángulo.

P: No sube. ¿Qué fuerzas actúan para que se dé el movimiento?, de esto ya no tenemos que hablar más; ¿Por qué si existe fricción el objeto sigue subiendo y no se detiene debido a esa fricción?, Bueno si la fricción es grande, eso lo varía todo.

A: Sí, se detiene pero es que al inicio, lo que sugiere esa pregunta es que a usted le parece sorprendente que un objeto al ponerlo inmediatamente aquí [en el ángulo inferior de las guías], comience como despegando y vaya rápido subiendo como por un plano inclinado. Entonces, es como si algo empezara a tener movimiento por sí solo, y las cosas no tienen movimiento por sí solas; entonces ahí se pensaría qué [fuerzas] actúan, si yo pienso en la fricción que va a ser resistencia hacia este lado en contra del movimiento, y el objeto empieza a tener movimiento por sí solo, entonces yo pienso ¡guau! Ahí hay un truco.

P: Bueno, en realidad este asunto del papel de la fricción con el plano, ustedes ya lo estudiaron en la física elemental; solo que pusieron a bajar el objeto en vez de subir, pero si usted tuviera que explicar esto . . . , usted no tendría ningún problema , porque el hecho de que esto descienda de una manera autónoma sin que uno lo empuje, se debe a que hay una acción de la gravedad que usted lo ha estudiado perfectamente, y además, sabe que hay un rozamiento; el rozamiento lo que hace es que esto en vez de deslizarse rueda.

A: Energía rotacional!!!

P: Ese es el papel que hace el rozamiento acá; ¿y por qué piensa que podría ser distinto?

A: No, sigue siendo igual.

P: Exactamente, el papel del rozamiento es el mismo, es más, casi podríamos pensar que el hecho de que esto

Pone las guías en paralelo y deja rodar el doble cono por el plano.

Coloca las guías convergentes y deja rodar el doble cono hacia arriba por el plano.

suba sin que haya toque, Parece subir ¿no?, debe deberse al mismo principio que hace que esto baje. Que aquí no hay más fuerza que la gravedad, el rozamiento con los palos...

A: ¿Han intentado cambiar el material?

P: Sí, y eso genera más dificultad, pues tiene esto más rozamiento, entre más pulido esto, pues mejor, parece que deslizará.

A: ¡Sería espectacular!

P: Sería estupendo, pero de verdad era lo que le estaba diciendo, es de explicar por qué esto rueda hacia arriba, Habría que buscar los principios por los cuales esto rueda hacia abajo. A ver, cuando el plano inclinado es usual y, uno deja caer un objeto, estábamos comentando que el peso reposa sobre las guías. si, luego suelta uno el cilindro, el cono o lo que sea y uno ve que esto desciende, y si se fija en su centro de masa, por acción de la gravedad esto desciende. ¿En realidad desde el punto de vista energético... cuando uno deja el objeto de una masa determinada que le pasa a su energía?

A: Va disminuyendo.

P: Eso es, va disminuyendo y si lo deja caer por una rampa, también disminuye; eso es un principio físico, en ausencia de fuerzas externas y bajo la acción del campo gravitatorio y como mucho con fuerzas normales, fuerzas de suspensión, el trabajo de reponer después, hace que la energía disminuya, ese es el principio. Entonces, por el mismo principio debería de girar, el principio de la física, no debería de cambiar; aunque aparentemente uno le sorprenda esto. Igual que explicamos el movimiento de bajada, deberíamos explicar el movimiento de subida.

A: Sí claro, porque está aumentando su energía potencial

P: ¿Pero está usted seguro que aumenta la energía potencial?

A: No.

P: En que se debería de fijar, digamos si usted quiere asegurarse si la energía potencial aumenta o disminuye, cuando va desde acá hasta acá, en qué se debería de fijar.

A: Creo que en el sistema referencial.

P: ¿En qué punto debe de fijarse?

A: En el centro de masa.

P: Fíjese, el centro de masa se ubica en el eje, ponga la vista, como está la altura del centro del eje

El profesor señala el eje del cono.

Se refiere cuando avanza de un punto bajo a un alto

Pone a rodar el doble cono desde la parte inferior del plano hacia arriba.

Observa el movimiento del doble cono.

A: Se mantiene constante.

P: No, disminuye.

A: Disminuye un poco pero igual, a simple vista parece..., si es más el caso visual que parece que sube.

P: Eso es. Fíjese conforme están las guías cerradas esto está bastante alto, pero a medida que va ascendiendo y las guías se abren, con lo cual esto se va hundiendo; entonces, en realidad sube por la misma razón que en la otra posición baja, el centro de masa...

A: Va bajando igual.

P: Exactamente. Es un aparato que se construye con dos palos de escoba, acá puedo poner cualquier cosa para controlar un poco el ángulo, y luego dos embudos.

Bueno a ver si hay otra pregunta.

A: ¿Las fuerzas que actúan o que ejercen las guías?

P: Bueno, podemos hablar del peso acá y luego, las fuerzas de las guías a parte del rozamiento; las fuerzas de las guías es perpendicular al punto de apoyo, son fuerzas que están así [en uve], según su inclinación y la abertura se ven así, se ruedan componentes y al final hacen fuerzas hacia arriba que es lo que hace rodar.

A: Y, aparentemente está subiendo.

P: ¿La fricción? Bueno, la fricción ya la hemos visto mucho, si no hubiera fricción en absoluto esto deslizaría lo cual sería muy chocante, y si hubiera mucho rozamiento ni siquiera pudieran vencer el rozamiento.

A: Sí, no se movería.

P: Exactamente, ¿si el peso del objeto varia que ocurre? Fíjese que usted al final hizo sus propias conclusiones, que es el diseño lo importante no, no lo del peso.

A: Sí, es el diseño para fijar su centro de masa.

P: Eso es, y el ángulo es importante pero si pesa más o pesa menos eso no... ¿Cómo varia la velocidad angular del objeto? Igual que hacia abajo; hacia arriba, hay una rotación y entonces la velocidad hace que se mueva un giro sin deslizamiento, la aceleración lineal está conectada por las vueltas que da y como siempre con el cambio que se produce aquí en el círculo, entonces como claro, aquí el círculo va cambiando la aceleración angular y la aceleración lineal se conectan de una manera distinta a la habitual.

A: ¿Y quién les puede modelar a ustedes esas ecuaciones?

P: ¡Ah!, eso es muy fácil, la aceleración angular va aumentando con el tiempo, como es constante, la velocidad lineal es constante, la velocidad angular no lo

Señala el peso del doble cono

es, como el círculo cada vez se hace más pequeño, la velocidad angular se hace muy grande, entonces esto hace que se acelere y rueda muy rápido.

A: Se me acaba de ocurrir una pregunta, ¿ustedes no han ensayado uniendo dos doble conos y poniéndolos a rodar, a ver qué sucede?

P: No, no lo hemos hecho.

A: O igual, si le colocan más masa a un lado del doble cono...

P: No. Pues muy bien si no hay más preguntas entonces pasaríamos a la siguiente parte.

Información adicional (tras la escritura del reporte final)

P: En caso de tener que diseñarlo..., ¿sabría usted cómo hacerlo? O haría alguna pregunta para conseguir realizar el diseño.

A: Sí, creo saber cómo funciona. Pero quizás preguntaría por el peso del doble cono.

P: ¡Claro, el peso!

A: Sería un elemento a tener en cuenta para poder realizar un diseño como el que tengo ahora.

P: Muy bien, tendría más preguntas.

A: No.

P: Bueno, muchas gracias.

B.- Análisis del reporte final escrito por el sujeto

Transcripción de su reporte final, idea a idea

S1: A primera vista se observa un cono subiendo por una rampa,

S2: Que indica que todos los principios de la física se estarían violando,

S3: Pero después de observar el desplazamiento se concluye lo siguiente:

S4: Hay una estrecha relación entre las formas geométricas del acróbata trepador,

S5: Dado que no funciona para otros elementos tales como cilindros.

S6: El acróbata trepador está completamente determinado por poseer su centro de masa, en el centro geométrico.

S7: Adicionalmente, el movimiento a través de la rampa, funciona de una manera muy similar a como se realiza cuando desciende por un plano inclinado,

S8: Siendo ayudado por la fuerza de fricción y la gravedad.

S9: Para finalmente observar que su energía potencial disminuye

S10: A medida que sube y comprobar que no se viola ninguna ley física.

Con respecto al Funcionamiento.

S11: Se tienen dos palos de escoba puestos (dispuestos) sobre dos soportes

S12: Con una inclinación específica,

S13: Una abertura mayor en la parte superior de mayor altura

S14: Y, una abertura menor en la parte inferior.

S15: Al poner el acróbata en la parte inferior, del diseño, el centro de masa, posee una energía potencial mayor,

S16: Por acción de la gravedad, y la fricción se generan fuerzas que empujan el acróbata hacia arriba.

S17: De esta forma, permitiendo el movimiento.

S18: El doble cono se ve como si se moviera hacia arriba.

S19: Lo que ocurre es que el centro de masa está descendiendo por acción y efecto de la gravedad;

S20: Los objetos tienden a moverse por acción y efecto de la gravedad.

S21: Realmente el centro de masa del objeto posee mayor energía potencial a medida que asciende por la rampa.

Tipos de ideas en el reporte final escrito

Total de ideas. 21

-Ideas científicas: 7 (33.3%)

-Ideas descriptivas: 6 (28.6%)

-Ideas que incluyen valores de parámetros: 0 (0%)

-Explicaciones: 11(52.4%)

-Ideas hipotético-predictivas: 0 (0%)

Sujeto #26: "Sebastián Marín". Física 3er semestre. Curso: electricidad y magnetismo (física II). Condición Experimental: "Explicar el funcionamiento del dispositivo"

Sesión 1

- Número de preguntas formuladas: 17
 - Incluyendo conceptos científicos: 4 (23.5%)
- Preguntas Asociativas: 5 (29.4%)
 - Pidiendo valores particulares de parámetros: 0 (0, 0%)
- Preguntas Explicativas, causales del tipo "¿Por qué...?": 10 (58.8%)
- Preguntas Hipotético-predictivas del tipo "¿Qué pasaría si...?": 2 (11.8%)
- Otras (no sobre el funcionamiento de los dispositivos): 0 (0,0%)

Sesión 2

Dispositivo: Diablillo Cartesiano

A.- Transcripción de la entrevista oral

Segmentos de información verbal proporcionada por el sujeto	Acciones (información no verbal)
<p>P: En esta sección vamos a solucionar las preguntas. Si usted desea manipular, lo hace, si desea tomar algunas medidas lo hace; nosotros queremos profundizar en su pensamiento.</p> <p>Por ejemplo, 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.</p> <p>A: Porque me parece que para que la tapita flote, necesita algo que le ayude a flotar. Porque cuando entra, me imagino que guarda aire en el momento que entró en el agua.</p> <p>P: Explíqueme, guarda aire ¿dónde?... Vamos a dejarlo caer, en su interior. Si ...</p> <p>P: Entonces, el líquido en realidad es por lo que usted pregunta. El líquido, ¿por qué le parece relevante?</p> <p>A: Porque cada sustancia tiene sus propiedades, entonces con algún otro líquido sea más fácil que flote o se hunda. Entonces por eso pregunté por el líquido, porque si fuera un líquido más ligero la tapa se hundiría... ¿No? Con uno más ligero flotaría más fácil...</p> <p>P: ¿Más ligero que?, ¿el líquido?</p> <p>A: Más ligero el líquido.</p> <p>P: ¿Sabría usted cómo explicar eso?</p> <p>A: No.</p> <p>P: Seguro que sí; usted ha estudiado eso antes...</p> <p>A. No.</p>	<p><i>Manipula la tapa de bolígrafo.</i></p> <p><i>Dejando caer la tapa dentro de la botella, llena de agua.</i></p>

P: ¿Nunca ha estudiado flotación?, ¿Nunca estudiaron el principio de Arquímedes?

A: El de Arquímedes sí.

P: Eso tiene que ver con la flotación. Bueno, efectivamente la pregunta es relevante por la flotación, por la densidad del líquido; con un líquido menos denso tendría menos posibilidades de flotar y con un líquido más denso sería más fácil flotar. Ahora, y, ¿por qué preguntaba si el agua tenía gas?

A: Porque al tener un gas que sea más ligero que el líquido, este le ayudaría a flotar.

P: ¡Ahh! Vd. se refiere a que si se hiciera con gaseosa, esto le ayudaría más a la flotación.

Le puedo contestar, yo creo que usted tiene razón, el fenómeno, funcionaria también con otro tipo de líquido más ligero, pero con más dificultad. Por ejemplo, si fuera alcohol habría menos flotación y, con un líquido más denso, añadiéndole azúcar por ejemplo, flotaría mejor y sería más difícil de hundir.

Si el líquido tiene algo de gas, el efecto es algo más difícil de explicar.

A: Entonces, lo máximo de aire que debe quedar en la botella es esto.

P: ¡Ah! Sí. El aire que queda dentro de la botella es esto.

P: Luego, usted preguntaba: ¿Cuál es la función de la plastilina?, ¿A usted le parece relevante esto?

A: Sí, para mi es relevante.

P: Primero, intente explicar por qué le parece relevante y después le contestaré a la pregunta si se precisa. Si no, formule otra pregunta...

A: Si yo le quitara la plastilina ¿podría hacer el experimento?

P: ¡Ah!, ¿Qué pasaría si se le quitara la plastilina?, ¿Qué función cree usted que tiene?... voy a mostrarle otro diablillo.

A: (la función de) hundir la tapa.

P: ¿Hundirá la tapa?

A: Pues, no, me imagino que al quitarle la plastilina quedara flotando, pero no así. No así, de manera vertical, sino que quedara horizontal.

P, ¡Ahh! ¿Entonces cuál es el papel real que usted cree que tiene la plastilina?

A. Que quede de esta manera [vertical]

P: Es un contrapeso. Está hecho de manera que el centro de masa le haga flotar vertical..., Más que hacerlo hundir, es para que se sostenga verticalmente en el

Señala el aire que queda en la botella entre el agua y el tapón. Señala el volumen de aire en la botella.

Toma otro diablillo fuera de la botella y señala el contrapeso-estabilizador de plastilina.

Coloca el diablillo en posición vertical primero, y luego en horizontal

agua.

A: ¡Ah! Muy bien. Otra pregunta, ¿se puede usar cualquier otro contrapeso?

P: ¿Qué piensa usted ahora?

A: Que sí.

P: ¡Claro!, ¡Muy bien!

P: ¡Claro!, lo que pasa es que cuando uno empieza a nivelar, tres puntos, le puedo con la plastilina quitar o aumentar; es mucho más sencillo.

A: ¡A!, ¡claro!

P: Otra de sus preguntas, ¿la botella debe de estar necesariamente tapada?

A: Ya me di cuenta cuando la ensaye la última vez.

P: Y, ¿cuál fue su respuesta?

A: Sí.

P: ¿Que sucedía cuando estaba destapada?

A: Subía totalmente el agua.

P: Y, ¿le ayudo a comprender mejor el dispositivo, ensayar con la botella destapada?

A: Sí.

P: ¿Comprendió el papel del tapón?

A: Sí, yo creo que sí. Yo considero que el papel de esta es que siempre quede con la misma cantidad de aire; que siempre quede con la misma cantidad tanto de líquido como de aire, y esa misma presión también.

P: En este caso la presión atmosférica.

A: Sí, la presión atmosférica.

P: Entonces, en el caso de estar destapado, cuando uno aprieta no sucede lo mismo que cuando está tapado. ¿Y usted entiende la razón por la cual hay una necesidad de estar tapado?

A: Pienso, que cuando dejo de apretar la botella, estas cambiándole la presión, además de la presión atmosférica esta también haciéndole una presión

P: Una sobre-presión.

A: ¡Exacto! En cambio, si la destapas, esa presión que le estoy haciendo yo acá se va a diluir.

P: Se invierte en otra cosa, además en subir el agua.

A: Exacto.

P: Muy bien. ¿Tiene algo que ver la densidad en el interior de la botella?, la densidad, ¿se refiere usted, a la densidad del líquido o a la densidad del dispositivo?

A: De ambos, la verdad.

P: ¡A!, entonces sí que puede contestar, pues ya lo estábamos diciendo.

A: Sí.

P: ¿Cual cree usted que es la respuesta?

A: ¿Tiene que ver la densidad?

P: Sí, suponiendo que se pone un pedazo de hierro allí, está claro que no funciona.

¿La botella está a presión, es decir, puede tener cualquier cantidad de gas en ella?

A: ¡Ah!, bueno no.

P: La presión, está claro. ¿Puede tener cualquier cantidad de gas en ella?, usted lo manipuló.

A: No.

P: Vamos a llenar un poco más de agua la botella, tendrá un poco menos de gas y veremos que sucede.

A:

P: ¿Que pasa?, ¿da más dificultad? Se complica, se logra, pero se hace más difícil.

A: Exacto.

P: Vamos a quitarle más líquido, y podemos ir aumentando la cantidad de gas a ver si se facilita más o no.

A:

P:

A: Muy difícil.

P: Se ha complicado, porque ahora casi toda la presión que uno ejerce, se invierte. Bueno esto ahora le ayuda a comprender.

A: Me genera más preguntas.

P: Que pregunta tiene.

A: Ahora tenemos menos líquido y más aire, y hay que hacerle mucha más presión para que la tapita baje, ¿cierto?

P: Cierto.

A: ¿Por qué?

P: Muy bien, es una buena pregunta, y yo, se la voy a responder poco a poco. ¿En qué cree usted que se invierte la sobrepresión que uno ejerce con las manos?, ¿Cuál es el efecto genérico que estamos introduciendo en la botella?

A: Redistribución del aire.

P: Redistribuirlo, que quiere decir.

A: O sea, estoy apretando acá [*aprieta un punto*].

P: Se deforma la botella y donde cree que va a parar ese aire.

A: En que se acumule aire acá arriba y acá abajo; pues pienso yo.

P: ¿Cree usted que la presión atmosférica que había en

Manipula el dispositivo, con la botella llena totalmente de agua.

Va disminuyendo el líquido de la botella para aumentar el aire.

Manipula el dispositivo y se le dificulta mucho hacer bajar el diablillo.

Manipula el dispositivo y logra bajar el diablillo con mucha dificultad.

el aire ahora tiene el mismo valor?, Quiero decir, antes había presión atmosférica, ¿cuando usted presiona con las manos sigue habiendo presión atmosférica o hay más presión externa aplicada?

A: Sigue habiendo presión atmosférica, pero creo que hay más presión externa

P: Muy bien, el valor de la presión dentro, cuando usted presiona con las manos y además, el de la presión atmosférica. Es la presión atmosférica más la presión que usted está haciendo sobre las paredes

A: Sí.

P: De manera que, usted lo que está haciendo es aumentar la presión sobre el gas, también sobre el líquido; sobre todo lo que hay dentro de la botella en realidad.

A: Sí.

P: lo que se está redistribuyendo por dentro como usted dice, no es realmente el aire o el agua, es, la presión. Se acuerda usted del principio de pascal; que dice que cuando uno presiona sobre un punto en un fluido, todo el líquido se presiona; ósea cuando usted presiona el aire en un punto, puede ser acá [*señala un punto de la botella*], presiona también todo el líquido, pero el efecto sobre el líquido no va a ser lo mismo. ¿Qué efecto tiene presionar una cantidad de aire, que sucede?

A: ¡Umm!

P: Imagínate que esto fuera una jeringa, una jeringa con una cantidad de aire; usted la presiona ¿qué le sucede al aire?

A: Intentaría escapar.

P: ¿Esta tapada?

A: El aire va a poner una resistencia.

P: Sí, eso seguro.

A: Y, se comparte una cantidad...

P: ¡Ahh!, ¿Eso se llama qué?

A: El volumen.

P: Muy bien, al ejercer presión, usted está reduciendo el volumen. Pero, ¿usted puede reducir el volumen del agua?, quiero decir, ¿cree usted que el agua es compresible a esta presión?,

P: ¿Usted ha visto alguna vez que el agua se compacte?; no, el agua es muy difícil de reducir su volumen, el aire sí, el aire es más fácil que el agua.

Entonces, la sobrepresión, está haciendo que el gas reduzca el volumen.

A: Entonces, que el objeto se hunda, me hace pensar que es a causa de que se está reduciendo el volumen que tiene el gas.

A: Manipula el dispositivo.

P: La respuesta es sí, pero aún falta un pequeño detalle. ¿Tiene algo que ver, que se reduzca el gas de la botella para que el objeto baje?, ¿el de la botella; el que queda afuera, digamos, del líquido?

A: Yo creo que sí.

P: ¿Sí?

A: Creo que sí.

P: ¿Eso disminuye la flotabilidad?

A: No.

P: ¡Ha! Usted se acuerda de un detalle que dijo al principio, lo primero que ha dicho, que el aparato le quedaba un poco de aire adentro, cuando.....

A: Sí; ósea que si lo aprieto...

P: El efecto de apretar, lo hemos dicho ya, es reducir el volumen de gas que hay dentro.

A: O sea que, podría pensar que disminuye también el volumen del gas que hay dentro de la tapita, ¿cierto?

P: ¡Cierto!

A: Entonces cuando la aprieto disminuye, y si lo desaprieto queda con el mismo volumen que había antes

P: Y, tiene algo que ver con la flotación dices.

A: Creo que sí; claro. Porque antes había más aire en ese espacio, ahora como el aire está ocupando menos volumen, dentro de la tapita hay menos aire y digamos que disminuye su flotabilidad por ...

P: Su densidad aumenta.

A: ¡Ah!

P: Queda comprendido; a ver, el principio que rige la flotación como dije al inicio, es el principio de Arquímedes, que en términos generales dice, que cuando tu sumerges un cuerpo en un líquido como el agua, se desplaza una unidad que es el volumen del cuerpo, y, el peso del líquido desplazado es el valor del empuje hacia arriba, que recibe un objeto para que flote. Entonces, un objeto que flota como este, es subsidiario de este principio.

Información Complementaria ((tras la escritura del reporte)

P: Vd. no ha preguntado nada acerca de datos concretos, como el peso particular del diablillo, el tamaño de la tapa de lapicero, los gramos de plastilina que hay que añadir en el contrapeso, el volumen preciso de agua en el botella, la capacidad de la botella, etc. ¿Por qué?

A: Bueno, en realidad el fenómeno tiene lugar independientemente de esos valores concretos, con tal

de que la tapa flote verticalmente al comienzo. Hemos visto que si se varía la cantidad de agua de la botella el fenómeno se produce igual, aunque se requiere ejercer mayor presión...

P: Entonces, ¿Vd. no consideró esos datos relevantes?

A: No los consideré relevantes porque no son necesarios para comprender el dispositivo.

B.- Análisis del Reporte final escrito por el sujeto

Transcripción de su reporte final, idea a idea

S1: El diablillo cartesiano consiste en un recipiente lleno hasta cierta altura de agua.

S2: Y, en el cual está inmerso un objeto con un contrapeso.

S3: El objeto es una tapa.

S4: El contrapeso es plastilina

S5: El recipiente se tapa.

S6: Cuando está tapado, la tapa de lapicero flota...

S7: ..., pero si se le ejerce una presión, ésta se sumerge...

S8: ..., y, al dejar de ejercerle la presión, ésta vuelve a flotar.

S9: Al explicar este fenómeno hay que tener en cuenta el Principio de Arquímedes.

S10: Este principio dice: cuando un objeto se sumerge en un líquido, el peso del líquido que desplaza el objeto será igual a la fuerza que se ejerce hacia arriba en el objeto.

S11: Así, vimos que para que el objeto flote, la fuerza que ejerce el líquido en el objeto debe ser igual al peso del objeto.

S12: (Suma de fuerzas = 0)

S13: Como ya hemos dicho, el Empuje depende de la cantidad de agua que desplaza el objeto

S14: En el momento en que la tapa entra en el recipiente, en su interior hay cierta cantidad de aire S15: ..., lo cual ayuda a la flotabilidad de la tapa.

S16: Es decir, como el aire ocupa un volumen en la tapa

S17: Esto hace que se desplace más cantidad de agua.

S18: Como el aire está tapado, la cantidad de aire que hay en la botella y en la tapa no cambia cuando se aprieta.

S19: Pero al apretarlo, el volumen que ocupa el aire es menor

S20: ... De manera que la tapa desplaza menos cantidad de agua.

S21: Así (por tanto), el empuje es menor

S22: Y, por tanto la fuerza peso es mayor que la fuerza empuje.

S23: Esto hace que la tapa se hunda.

S24: En el momento que se deja de ejercer presión, el aire vuelve a ocupar el mismo volumen en la tapa que ocupaba antes de presionar la botella

S25: haciendo así que el Empuje vuelva a ser el mismo

S26: Y (por tanto) la tapa flote de nuevo.
(Añade un par de dibujos expresando lo mismo de forma pictórica)

Tipos de ideas en el reporte final escrito

Total de ideas. 26

- Ideas científicas: 13 (50.0%)
- Ideas descriptivas: 12 (46.2%)
- Ideas que incluyen valores de parámetros: 0 (0%)
- Explicaciones: 14 (53.8%)
- Ideas hipotético-predictivas: 0 (0%)

ANEXO III

Instrucciones y textos con imágenes estáticas

III. 1. Instrucciones Condición Leer

Por favor, no pases la página hasta que te lo indiquen

INSTRUCCIONES: Condición Leer

Este ejercicio es parte de un programa para mejorar la comprensión de las Ciencias.

El ejercicio consiste en **leer dos textos cortos**: uno sobre “*El diablillo cartesiano*” y otro sobre “*Un acróbata trepador*”. Después, **deberás explicar su contenido a un/a compañero/a que no lo habrá leído.**

En función de tu rendimiento obtendrás una bonificación de hasta 0,5 puntos extra, a sumar a tu nota final en la asignatura.

El ejercicio consta de 2 sesiones. Ahora realizamos la primera y, en otra sesión posterior, la segunda.

1.-PRIMERA SESIÓN (Ahora)

1.1.- **LEER.**- En esta primera sesión debes leer los dos textos cortos para poder explicarlos, en la segunda sesión, a un/a compañero/a que no los habrá leído.

1.2.- **HACER PREGUNTAS (si lo necesitas).**- Para ayudarte en la explicación que tendrás que hacer en la próxima sesión, hoy puedes formular por escrito todas las preguntas que tengas sobre el texto.

Recogeremos tus preguntas y te proporcionaremos todas las respuestas al principio de la segunda sesión. Así podrás usar esta información para dar a tu compañero/a mejores explicaciones y obtener mejor bonificación en la calificación final.

2.-SEGUNDA SESIÓN (En un día posterior)

2.1.- **RESPUESTA A TUS PREGUNTAS.**- Te entregaremos las respuestas a las preguntas que formules hoy, antes de empezar con las explicaciones a tu compañero/a.

2.2.- **EXPLICAR** lo mejor que puedas el contenido de los dos textos a otro/a compañero/a que no los habrá leído. No dispondrás de los textos para esta tarea.

2.3. **PRUEBA DE COMPRENSIÓN A TU COMPAÑERO/A Y A TI.**- Tu compañero/a y tú mismo realizaréis por separado una pequeña prueba para saber cómo habéis comprendido los textos. De acuerdo con el resultado obtendréis un máximo de 0,5 puntos para sumar a la nota final.

AHORA ACLARAREMOS TUS DUDAS.

Cuando te lo indiquen pasa la página

III. 2. Instrucciones Condición Visionar DVD

Hoja de instrucciones para los estudiantes: CONDICIÓN VISIONAR VIDEO.

Por favor, lee atentamente estas instrucciones; es muy importante.

INSTRUCCIONES

Este ejercicio es parte de un programa para mejorar la comprensión de las Ciencias.

El ejercicio consiste en visionar dos videos cortos sobre dos dispositivos científicos. Un dispositivo es el "*El diablillo cartesiano*" y el otro es "*Un acróbata trepador*". Después, deberás explicar su funcionamiento a otro/a compañero/a que no los habrá visto.

En función de tu rendimiento obtendrás hasta un cinco (5), a sumar a tu nota en la asignatura en el actual periodo.

El ejercicio consta de 2 sesiones. Ahora realizamos la primera y, en otra sesión posterior, la segunda.

1.-PRIMERA SESIÓN (Ahora)

1.1.- **OBSERVAR LOS DISPOSITIVOS EN VIDEO.**- En esta primera sesión te proporcionamos un archivo de video para cada dispositivo. Podrás visionar cada video a tu gusto, parando, volviendo hacia atrás cuando quieras, etc.

Cuando acabes con el primer dispositivo, espera a que el profesor te lo indique para visionar el segundo video. Recuerda que el tiempo está limitado: tienes 15 min por cada dispositivo.

1.2.- **HACER PREGUNTAS (si lo necesitas).**- Para ayudarte en la explicación que tendrás que hacer en la segunda sesión, hoy puedes formular por escrito todas las preguntas que tengas sobre cada dispositivo. Dispones de 15 min para visionar el archivo de video y escribir tus preguntas en el papel (hay una zona preparada para las preguntas). Cuando acabes con el primer dispositivo, podrás comenzar el segundo y dispondrás de otros 15 min.

Recogeremos tus preguntas y te proporcionaremos todas las respuestas al principio de la segunda sesión. Así podrás usar esta información para dar a tu compañero/a mejores explicaciones y obtener mejor bonificación en la calificación final.

2.-SEGUNDA SESIÓN (En un día posterior)

2.1.- **RESPUESTA A TUS PREGUNTAS.**- Te entregaremos las respuestas a las preguntas que formules hoy, antes de empezar con las explicaciones a tu compañero/a.

2.2.- **EXPLICAR** lo mejor que puedas el funcionamiento de los dispositivos a otro/a compañero/a que no los habrá leído. No dispondrás de los Videos para esta tarea.

2.3. **PRUEBA DE COMPRENSIÓN A TU COMPAÑERO/A Y A TI.**- Tu compañero/a y tú mismo realizaréis por separado una pequeña prueba para saber cómo habéis comprendido los dispositivos. De acuerdo con el resultado obtendréis un máximo de un cinco (5) a sumar a la nota de la asignatura en el periodo actual.

AHORA ACLARAREMOS TUS DUDAS.

Cuando te lo indiquen comienza con el primer dispositivo.

III. 3. Instrucciones Condición Observar y Manipular

Hoja de instrucciones para los estudiantes: OBSERVAR Y MANIPULAR.

Por favor, lee atentamente estas instrucciones; es muy importante.

INSTRUCCIONES

Este ejercicio es parte de un programa para mejorar la comprensión de las Ciencias.

El ejercicio consiste en **observar y manipular con libertad dos dispositivos científicos**. Un dispositivo es el "*El diablillo cartesiano*" y el otro es "*Un acróbata trepador*". Después, **deberás explicar su funcionamiento a otro/a compañero/a que no los habrá visto**.

En función de tu rendimiento obtendrás hasta un cinco (5), a sumar a tu nota en la asignatura en el actual periodo.

El ejercicio consta de 2 sesiones. Ahora realizamos la primera y, en otra sesión posterior, la segunda.

1.-PRIMERA SESIÓN (Ahora)

1.1.- **OBSERVAR Y MANIPULAR LOS DISPOSITIVOS**.- En esta primera sesión el investigador hará funcionar el primer dispositivo y tú deberás observar atentamente. Luego, tú deberás hacerlo funcionar manipulándolo a tu antojo con toda libertad.

Cuando acabes con el primer dispositivo, el profesor te mostrará el segundo dispositivo y harás lo mismo que con el primero. Recuerda que el tiempo está limitado: tienes 15 min por cada dispositivo.

1.2.- **HACER PREGUNTAS (si lo necesitas)**.- Para ayudarte en la explicación que tendrás que hacer en la segunda sesión, hoy puedes formular por escrito todas las preguntas que tengas sobre cada dispositivo. Dispones de 15 min para manipular el dispositivo y escribir tus preguntas en el papel que te entregará el investigador. Cuando acabes con el primer dispositivo, podrás comenzar el segundo y dispondrás de otros 15 min.

Recogeremos tus preguntas y te proporcionaremos todas las respuestas al principio de la segunda sesión. Así podrás usar esta información para dar a tu compañero/a mejores explicaciones y obtener mejor bonificación en la calificación final.

2.-SEGUNDA SESIÓN (En un día posterior)

2.1.- **RESPUESTA A TUS PREGUNTAS**.- Te entregaremos las respuestas a las preguntas que formules hoy, antes de empezar con las explicaciones a tu compañero/a.

2.2.- **EXPLICAR** lo mejor que puedas el funcionamiento de los dispositivos a otro/a compañero/a que no los habrá visto antes. No dispondrás de los dispositivos para esta tarea.

2.3. **PRUEBA DE COMPRENSIÓN A TU COMPAÑERO/A Y A TI**.- Tu compañero/a y tú mismo realizaréis por separado una pequeña prueba para saber cómo habéis comprendido los dispositivos. De acuerdo con el resultado obtendréis un máximo de un cinco (5) a sumar a la nota de la asignatura en el periodo actual.

AHORA ACLARAREMOS TUS DUDAS.

Cuando te lo indiquen acude donde están los dispositivos.

III. 4. Instrucciones Condición Leer y Observar Imágenes Estáticas

Hoja de instrucciones para los estudiantes: CONDICIÓN LEER Y OBSERVAR IMÁGENES ESTATICAS.

Por favor, lee atentamente estas instrucciones; es muy importante.
--

INSTRUCCIONES

Este ejercicio es parte de un programa para mejorar la comprensión de las Ciencias.

El ejercicio consiste en leer dos textos cortos y observar algunas imágenes sobre dos dispositivos científicos. Un dispositivo es el "*El diablillo cartesiano*" y el otro es "*Un acróbata trepador*". Después, deberás explicar su funcionamiento a otro/a compañero/a que no los habrá visto.

En función de tu rendimiento obtendrás hasta _____ puntos, a sumar a tu nota final en la asignatura. El ejercicio consta de 2 sesiones. Ahora realizamos la primera y, en otra sesión posterior, la segunda.

1.-PRIMERA SESIÓN (Ahora)

1.1.- **LEER Y OBSERVAR LAS IMÁGENES ESTATICAS EN PAPEL.**- En esta primera sesión te proporcionaremos dos textos cortos y una serie de imágenes estáticas para cada dispositivo. Debes leer el primer texto y observar las imágenes estáticas de ese dispositivo. Luego, puedes leer el segundo texto y observar las imágenes estáticas de este. Recuerda que, la idea es poder explicarlo, en la segunda sesión, a un/a compañero/a que no los habrá leído, ni observado las imágenes estáticas antes.

1.2.- **HACER PREGUNTAS (si lo necesitas).**- Para ayudarte en la explicación que tendrás que hacer en la segunda sesión, hoy puedes formular por escrito todas las preguntas que tengas sobre cada dispositivo. Dispones de 10 min para leer los textos, observar las imágenes estáticas y escribir tus preguntas en el papel (hay una zona preparada para las preguntas). Cuando acabes con el primer dispositivo, podrás comenzar el segundo y dispondrás de otros 10 min.

Recogeremos tus preguntas y te proporcionaremos todas las respuestas al principio de la segunda sesión. Así podrás usar esta información para dar a tu compañero/a mejores explicaciones y obtener mejor bonificación en la calificación final.

2.-SEGUNDA SESIÓN (En un día posterior)

2.1.- **RESPUESTA A TUS PREGUNTAS.**- Te entregaremos las respuestas a las preguntas que formules hoy, antes de empezar con las explicaciones a tu compañero/a.

2.2.- **EXPLICAR** lo mejor que puedas el funcionamiento de los dispositivos a otro/a compañero/a que no los habrá leído, ni observado las imágenes estáticas. No dispondrás del texto y las imágenes para esta tarea.

2.3. **PRUEBA DE COMPRENSIÓN A TU COMPAÑERO/A Y A TI.**- Tu compañero/a y tú mismo realizaréis por separado una pequeña prueba para saber cómo habéis comprendido los dispositivos. De acuerdo con el resultado obtendréis un máximo de 0,5 puntos a sumar a la nota final de la asignatura de física o química.

AHORA ACLARAREMOS TUS DUDAS.

Cuando te lo indiquen comienza con el primer dispositivo.

III. 5. Instrucciones Condición Explicar

Hoja de instrucciones para los estudiantes: EXPLICAR

Por favor, lea atentamente estas instrucciones; es muy importante.

INSTRUCCIONES

Este ejercicio es parte de un programa para mejorar la comprensión de las Ciencias.

El ejercicio consiste en **observar dos dispositivos científicos**. Un dispositivo es el "*El diablillo cartesiano*" y el otro es "*Un acróbata trepador*". Después, **deberá explicar su funcionamiento con detalle**.

El ejercicio consta de 2 sesiones. Ahora realizamos la primera y, en otra sesión posterior, la segunda.

1.-PRIMERA SESIÓN (Ahora)

1.1.- **OBSERVAR LOS DISPOSITIVOS**.- En esta primera sesión el investigador hará funcionar el primer dispositivo y Vd. deberá observar atentamente.

Cuando acabe con el primer dispositivo, el profesor le mostrará el segundo dispositivo y hará Vd. lo mismo que con el primero.

1.2.- **HACER PREGUNTAS (si lo necesita)**.- Para ayudarle en la explicación que tendrá que hacer en la segunda sesión, hoy puede Vd. formular todas las preguntas que requiera sobre cada dispositivo. Dispone de tiempo suficiente para formular sus preguntas. Cuando acabe con el primer dispositivo, podrá comenzar con el segundo.

Recogeremos sus preguntas y le proporcionaremos todas las respuestas al principio de la sesión de evaluación. Así podrá usar esta información para explicar mejor los dispositivos en esa segunda sesión.

2.-SEGUNDA SESIÓN DE EVALUACIÓN (más adelante)

2.1.- **RESPUESTA A SUS PREGUNTAS**.- Le entregaremos las respuestas a las preguntas que formule hoy, antes de la sesión de evaluación.

2.2.- **EXPLICAR** lo mejor que pueda el funcionamiento de los dispositivos en la sesión de evaluación. No dispondrá de los dispositivos para esta tarea. Explicará Vd. los dispositivos por escrito para mostrar qué tal los comprendió.

AHORA ACLARAREMOS SUS DUDAS.

Quando se lo indiquen acuda donde están los dispositivos.

III. 6. Textos con imágenes estáticas.

III.6.1. Diablillo Cartesiano

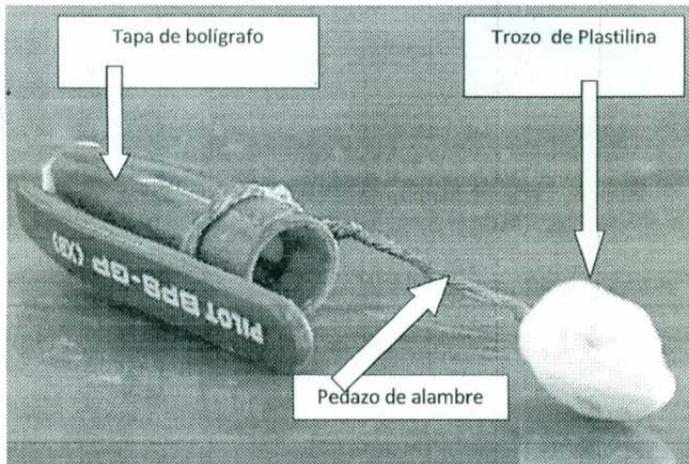
DIABLILLO CARTESIANO

Sabemos que cuando un objeto se hunde, no suele regresar a la superficie sin ayuda, excepto los submarinos.

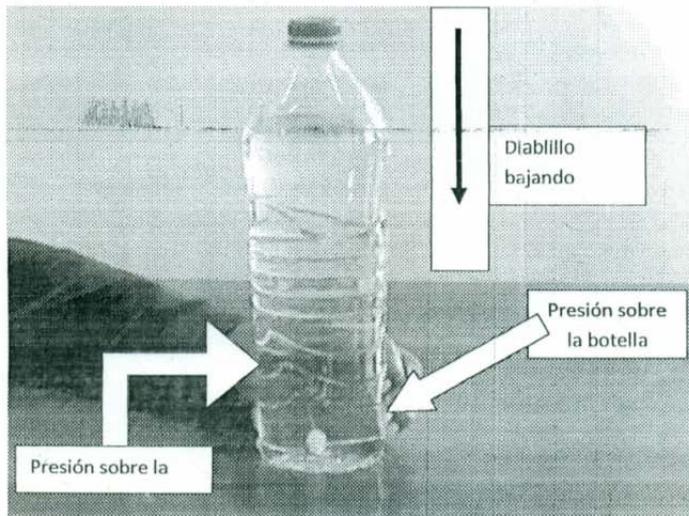
El ‘diablillo cartesiano’ consiste en una tapa de bolígrafo con un trocito de plastilina pegado en su pestaña, dentro de una botella de plástico casi llena de agua con su tapón. Si se deja flotando la tapa de bolígrafo en la botella cerrada y se aprieta la botella, el ‘diablillo’ se hunde como se espera.

Sin embargo, si se deja de apretar la botella, el ‘diablillo’ ¡vuelve a subir a la superficie sin ayuda!

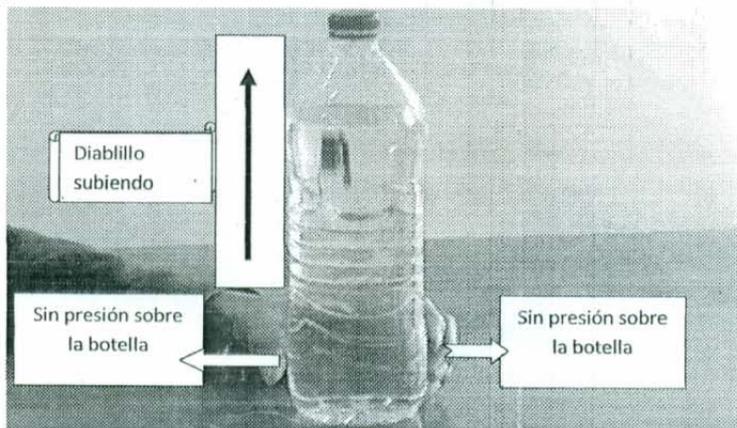
Escribe tus preguntas aquí (las que realmente necesites para explicar este dispositivo a otro/a compañero/a que no lo haya visto)



2.



3.



III.6.2. Acróbata Trepador

ACRÓBATA TREPADOR

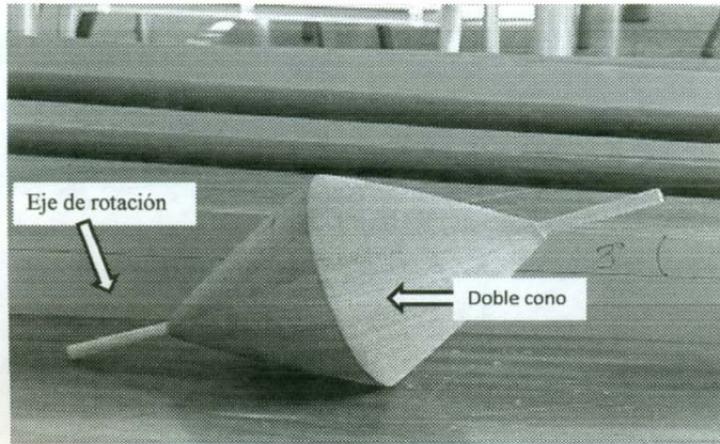
Sabemos que un objeto redondo rueda hacia abajo sobre un plano inclinado, si no se le empuja o tiene motor.

El ‘acróbata trepador’ consiste en un doble cono (dos conos unidos por su base) y en un plano inclinado formado por dos guías rectas. Si se disponen las guías en paralelo y se deposita el doble cono sobre ellas, el objeto rueda hacia abajo como se espera.

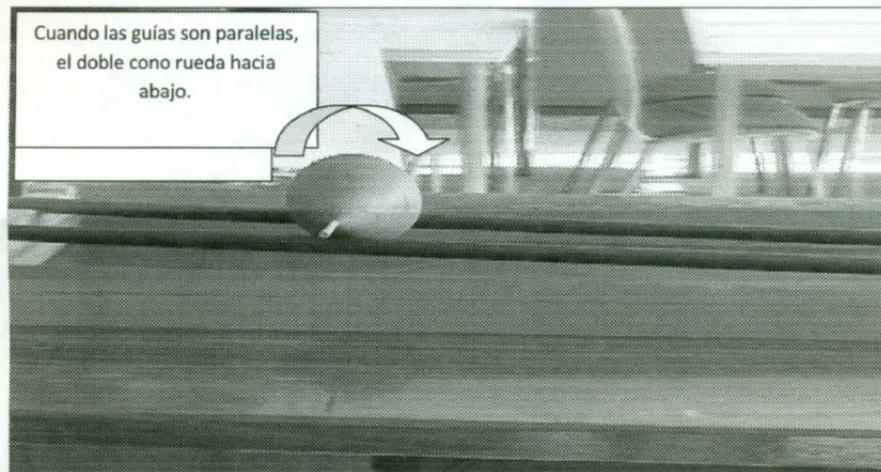
Sin embargo, si se abre el ángulo de las guías para que sean convergentes, ¿el ‘acróbata’ rueda hacia arriba por la rampa sin ayuda!

Escribe tus preguntas aquí (las que realmente necesites para explicar este dispositivo a otro/a compañero/a que no lo haya visto)

1.



2.



3.

