

Utilización de las prácticas de laboratorio como herramienta en la resolución de problemas en el área de física y química en la etapa de educación secundaria obligatoria

Sánchez-Delgado, J.M, y Vázquez-Bernal, B.

Departamento de Didáctica de las Ciencias y Filosofía. Universidad de Huelva.

profesorfisicayquimica@hotmail.com

RESUMEN

La finalidad de la investigación es indagar sobre el potencial de las prácticas de laboratorio en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias experimentales, centrado en tres de sus objetivos: adquisición de conocimientos, comprensión del tema y mejora en habilidades y estrategias de resolución de problemas.

Además se plantea una integración global de las experiencias prácticas de la materia (realizadas desde un enfoque constructivista) como un elemento curricular fusionado de manera real en el desarrollo de las clases.

El objetivo es comprobar, cuantificar y valorar la mejora producida en un grupo que realiza una práctica experimental, respecto a otro de similares características y contexto, con un desarrollo curricular idéntico, pero que no realiza dicha práctica. Además relacionaremos los resultados cuantitativos de la mejora producida con la ayuda a la superación de obstáculos que encuentran los alumnos en la comprensión de la materia.

Palabras clave:

Experimentación, educación secundaria, resolución de problemas, Física y Química.

1.- INTRODUCCIÓN

La experimentación ha sido el motor del desarrollo científico y tecnológico desde la antigüedad, pero, sin embargo parece separada del entorno educativo de los alumnos.

El desarrollo de la Enseñanza de las Ciencias tradicionalmente gira en torno a dos ejes temáticos: la conceptualidad y la habilidad para la resolución de problemas planteados. Dichos ejes han ido evolucionando con los cambios metodológicos, desde una enseñanza memorística y calculística, hasta una enseñanza que prima que el alumno sea el constructor de su conocimiento y que busca un aprendizaje realmente significativo.

Sin embargo la experimentación en el laboratorio escolar sigue ajena a estas tendencias educativas. Aunque es cierto que ha evolucionado mucho (como todo lo referente al sistema educativo) desde las prácticas de cátedra hasta la experimentación actual, en la que se pretende que el alumnado no sólo ejecute instrucciones, sino que tome decisiones basadas en su conocimiento científico. Desde este trabajo, se pretende globalizar e integrar las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias, no como un anexo o

complemento, sino como un eje vertebrador y constructor que ayude al resto de los pilares sobre los que sustenta la formación integral de nuestro alumnado en ciencias.

2.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Tratamiento de la experimentación a través de las diferentes leyes educativas en la etapa histórica actual

A través del estudio de las tres leyes educativas con desarrollo curricular que han estado vigentes en la etapa histórica actual (desde 1975 hasta la actualidad), LGU (España, 1970), LOGSE (España, 1990) y LOE (España, 2006) se observa cómo va aumentando el contenido curricular relacionado con la experimentación, lo que se podría apreciar como un aumento en la importancia de la misma en la enseñanza de la ciencias. Pero ese aumento en los contenidos apenas se apoya en otros pilares educativos como estrategias metodológicas de apoyo a la experimentación escolar, o instrumentos de evaluación del proceso de enseñanza y aprendizaje de la experimentación en el área.

Antecedentes en la investigación de la utilización de prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias

Investigaciones sobre la metodología de trabajo del profesorado en ciencias, indican la importante carga conceptual existente en el transcurso de sus clases. Sin embargo, es admitido que para el alumno, el proceso de E-A, es más sólido si comprende los objetivos de las actividades realizadas (Lijnse, 2004). Este argumento toma mucho peso en las prácticas de laboratorio, ya que en ellas es más accesible percibir relación entre lo estudiado y su aplicación. Además, comprender los objetivos de las actividades, hace que el alumno esté motivado y dispuesto a aprender (Tortosa *et al.*, 2013).

A partir de los 90, se toma conciencia de la importancia de la experimentación en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, generándose numerosos estudios que justifican que son precisas nuevas exigencias metodológicas ajenas al aula hasta el momento (Gil y Carrascosa, 1985; Hashweh 1986; Duschl y Gitomer, 1991; Wheatley, 1991).

El planteamiento de la experimentación ha ido cambiando en busca de objetivos constructivos, alejándose de prácticas estructuradas, rígidas y dirigidas por el profesor, hacia prácticas con problemas abiertos que inviten a la reflexión, al planteamiento de hipótesis, a la realización de memorias o al trabajo colaborativo (Gil y Valdés, 1996).

El siguiente paso es proponer integrar conceptualidad, resolución de problemas y realización de prácticas experimentales, en un concepto de aprendizaje significativo que ayude a alcanzar una comprensión global de las ciencias (Gil Pérez *et al.*, 1999).

Antecedentes en la investigación sobre resolución de problemas en física y química

Un problema se define como un suceso que genera la búsqueda de una solución con el objetivo del resultado. Sin embargo en los problemas escolares no se busca tanto la solución como conocer las estrategias de resolución (Dumas-Carré, 1987). La investigación en resolución de problemas evoluciona según las teorías psicológicas, como clasificó Perales en 1993, (psicología conductista, Gestalt, cognitiva-teoría del procesamiento de información, cognitiva-teoría de Piaget y cognitiva-constructivismo).

Los problemas (Perales, 2000) pueden ser: cuantitativos, basados en cálculo numérico según estrategias matemáticas; cualitativos, que exigen un razonamiento justificativo; y experimentales en los que la práctica de laboratorio es indispensable en la resolución.

Vázquez Bernal (2001) ordena las variables que afectan a la resolución de problemas en varias categorías: aplicación, cálculo, camino, clase, complicación, confianza, conocimiento, entendimiento, interés, memoria y trabajo.

Vázquez-Bernal y Jiménez (2001), establecen que las mayores dificultades en la resolución de problemas son la necesidad de obtener un aprendizaje significativo y la utilización de estrategias adecuadas de resolución. Problemas en estudiantes de secundaria y en futuros profesores. Una de las causas de estos efectos es la tendencia de realización de problemas cerrados y numéricos (Jiménez y Vázquez-Bernal, 2002).

3.- PROBLEMAS A ESTUDIAR E HIPÓTESIS PLANTEADAS

Se han planteado cuatro preguntas o problemas, cuyas respuestas es el objetivo final de este proceso de investigación. Los problemas de estudio planteados son los siguientes:

Problema 1

¿Los trabajos realizados en el laboratorio escolar de los centros educativos de educación secundaria ayudan en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias experimentales y, más concretamente, dentro de la materia de Física y Química?

Es incuestionable que la realización de prácticas de laboratorio genera un importante trabajo previo y posterior a la actividad realizada. Dicho trabajo debe servir como una herramienta de ayuda en el proceso de aprendizaje del alumnado, pero esta relación causa-efecto no parece clara para muchos docentes. Este trabajo intentará obtener datos reales del aprovechamiento de las prácticas experimentales por parte del alumnado.

La hipótesis es que nuestras alumnas y alumnos se benefician del trabajo experimental y que, si el resultado obtenido no es tan bueno como esperamos, debemos pensar que la experimentación tiene un margen de mejora didáctico y pedagógico a tener en cuenta.

Problema 2

¿Podríamos utilizar el trabajo realizado en las prácticas experimentales de física y química como herramienta de ayuda en la resolución de problemas del área?

Estudiaremos la relación entre las destrezas adquiridas con la realización experimental, con la mejora en la habilidad para resolver problemas sobre la misma temática.

La hipótesis es que el alumnado que realiza un óptimo trabajo experimental afianza sus conocimientos, la comprensión del tema y tiene más habilidad para resolver problemas.

Problema 3

¿Cuáles son los obstáculos en la comprensión del movimiento rectilíneo y uniforme?

Al mismo tiempo que investigamos sobre la incidencia de la experimentación en el trabajo del área, haremos un estudio exhaustivo del tema concreto elegido para este trabajo: el movimiento rectilíneo y uniforme (MRU). Estudiaremos los obstáculos que aparecen tanto en ambos grupos en contextos naturales, y valoraremos las diferencias.

Problema 4

¿En vista de los resultados obtenidos, sería recomendable plantear una integración global de las prácticas de laboratorio en el currículo escolar, así como trabajar metodológicamente en su desarrollo para mejorar los resultados obtenidos?

Este problema de investigación será respondido en función de los resultados obtenidos para los problemas anteriores. Si son los esperados, dejará la puerta abierta a un trabajo de integración global de la experimentación en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

La hipótesis de trabajo es que sería recomendable esta integración, y que además esta apuesta tiene margen de mejora importante en el trabajo del área de Física y Química.

4.- METODOLOGÍA

La investigación ha sido diseñada bajo un paradigma cuantitativo, basado en un caso particular orientado al proceso, y en el cual los resultados se justifican en un marco numérico o estadístico. Se desarrollará un método cuasi-experimental, ya que nuestro el experimento no controlamos todas las variables, la variable independiente no es manipulada y la influencia del experimentador es mínima (Colás y Buendía, 1992). Se basa en una investigación Pre-Test/Post-Test, una toma de datos previa a la acción sujeto de investigación y una toma de datos posterior para, a partir de ambas valorar los cambios producidos en la construcción del tema en nuestro alumnado.

En este caso concreto, la acción consiste en una actividad experimental en el laboratorio de Física y Química. Será llevada a cabo por un grupo tras el estudio de un tema (este grupo será considerado el grupo investigación), mientras que otro grupo de similares características no realizará dicha actividad (grupo control). El primer grupo realizará el cuestionario post-test (tras realizar la experiencia) y el segundo grupo el pre-test.

La actividad se realizó en el Instituto de Enseñanza Secundaria Doctor Fleming, situado en Oviedo con dos de los tres grupos que cursan la materia de Física y Química en 4ºESO y que poseían características más similares, tanto en rendimiento, comportamiento, ritmo de aprendizaje y ratio. Ya que el centro dispone de tres grupos en esta materia, el tercer grupo se utilizó como pre-experimental o exploratorio no cuantificable para comprobar que las preguntas eran óptimas, claras y concisas. Sus resultados han sido de gran utilidad para matizar y afianzar la claridad del cuestionario.

La temática de trabajo es la cinemática y en concreto el estudio del movimiento rectilíneo y uniforme (MRU). Nuestro estudio intenta demostrar la mejora en la comprensión conceptual al realizar actividades experimentales en torno a esa temática.

La actividad consiste en la elaboración propia por parte del alumnado (a partir de un texto-guía con el fundamento teórico y los posibles materiales a utilizar) de un montaje simulador de un MRU a partir de una serie de materiales disponibles en el laboratorio. El problema que se le plantea al alumnado en esta práctica es la representación lineal de un MRU a partir de un movimiento real a través del montaje previamente realizado por ellos y el cálculo de la velocidad media obtenida en el movimiento representado por dicho montaje. Para esta actividad disponen de un raíl, una bola de acero, diferentes calzas y un metro, además de un cronómetro para medir los tiempos. Por último se prestará a los alumnos un dispositivo móvil con una aplicación que comprueba el nivel del montaje, de esta forma podrán asegurarse de que no haya ninguna inclinación. El objetivo final será calcular la velocidad media en el tramo horizontal, a partir de diferentes medidas de tiempo empleados para recorrer distancias definidas.

El instrumento de recogida de información es un cuestionario con ocho preguntas que ha sido validado por una doble vía, la primera de ellas ha sido la revisión de un grupo de expertos en la materia (Bartolomé Vázquez Bernal, profesor del Departamento de Didáctica de las Ciencias y Filosofía de la Universidad de Huelva y cuatro profesores funcionarios del Principado de Asturias en la especialidad de Física y Química).

En cuanto a las preguntas están divididas en tres bloques diferentes en función del objetivo de estudio que persiguen, para esta comunicación debido a la excesiva extensión del tratamiento de las mismas se ejemplifica una pregunta de cada uno de los bloques

Preguntas que indagan en la comprensión conceptual (P-1)

¿Cuáles son las características principales del MRU (movimiento rectilíneo uniforme)?

Preguntas sobre la contextualización del concepto (P-6)

¿Conoces ejemplos cotidianos de objetos, personas o animales que ejecuten un MRU?

Preguntas sobre la capacidad de resolución de problemas

Pregunta 7: Siguiendo un MRU, ¿qué objeto tiene una velocidad media mayor?

- a) Un objeto A que recorre 150 km en dos horas y media.
- b) Un objeto B que recorre 1,8 km en 12 minutos.
- c) Un objeto C que recorre 25 cm en 0,5 segundos.

Para extraer la máxima información posible de los datos obtenidos, presentamos previamente una tabla de categorización de cada pregunta en las que se presentan, además de las propias categorías y las variables de estudio, los diferentes indicadores para cada una de ellas, una descripción de cada uno y un nivel de complejidad asignado.

En este apartado analizaremos y compararemos los resultados obtenidos con el grupo control, que respondió el cuestionario previa realización de la práctica experimental, con los resultados obtenidos con el grupo experimental que respondió el cuestionario tras realizar la experiencia práctica en el laboratorio.

Tabla 1.- Sistema de categorías para el análisis del MRU.

VARIABLES	INDICADORES	DESCRIPTORES	Nivel de complejidad
1.- Características conceptual del MRU	Escasa comprensión	Incomprensión muy inadecuada de las características del MRU.	I
	Coexistencia comprensión-error	Alternancia entre respuestas adecuadas y erróneas.	II
	Comprensión incompleta	Faltan algunas de las características principales del MRU, aunque las que se expresan son acertadas.	III
	Comprensión óptima	Conoce todas las características de este tipo de movimiento (trayectoria recta, velocidad constante, ausencia de aceleración, coincidencia entre el espacio recorrido y la trayectoria).	IV
6.- El MRU en la vida cotidiana	Escala comprensión	Identifica de forma incorrecta ejemplos de MRU.	I
	Coexistencia comprensión-error	Alterna ejemplos correctos con otros erróneos.	II
	Comprensión incompleta	Sólo 1 o 2 ejemplos de MRU, pero correctos.	III
	Comprensión óptima	Más de dos ejemplos cotidianos de MRU.	IV
7.- Realización de cálculos en el MRU	Escasa comprensión	No es capaz de ofrecer respuesta al problema	I
	Coexistencia comprensión-error	Pese a realizar calculísticamente bien el problema, no es capaz de responder correctamente.	II
	Coexistencia comprensión-error (2)	Plantea correctamente el cálculo pero se equivoca en las unidades.	III
	Comprensión óptima	Opera y responde correctamente.	IV

5.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1.- Pregunta 1 (Comprensión conceptual). ¿Cuáles son las características principales del MRU?

El resultado más destacado de esta pregunta es el porcentaje de alumnos que responden correcta y completamente a la pregunta, pasando de un 4,5% en el grupo control, hasta un 35 % en el grupo experimental (Tabla 2). Teniendo en cuenta que el nivel III también incluye respuestas correctas (aunque no completas), el resultado global de aciertos es del 54,5 % en el grupo control respecto al 85 % del grupo experimental.

Tabla 2.- Resultados para la comprensión conceptual del MRU.

Nivel de complejidad	G. Control	% G Control	G. Exp.	% G. Exp.
IV	1	4,5 %	7	35 %
III	11	50 %	10	50 %
II	3	13,6 %	2	10 %
I	7	31,8%	1	5 %

Resulta destacado también que en el grupo experimental apenas se plantean características erróneas (sólo tres alumnos en total, que representan el 15 % del total).

5.2.- Resultados pregunta 6 (Contextualización del concepto). ¿Conoces ejemplos cotidianos de objetos, personas o animales que ejecuten un MRU?

En las respuestas a esta pregunta destaca la igualdad porcentual en los niveles I y IV, pero la tendencia al alza en el nivel III del grupo experimental (tabla 3).

La conclusión a la que llegamos con esta pregunta es que ambos grupos presentan dificultades para ejemplificar variadamente el MRU, pero el grupo experimental no presenta apenas errores (aunque tenga poca variedad de aciertos), mientras que el grupo control responde erróneamente un 23,3 % más (suma de las categorías 3 y 4).

Tabla 3.- Resultados para la contextualización del contexto del MRU.

Nivel de complejidad	G. Control	% G. Control	G. Exp.	% G. Exp.
IV	7	31,8 %	6	30 %
III	1	4,5 %	6	30 %
II	10	45,5 %	5	25 %
I	4	18,2 %	3	15 %

5.3.- Resultados pregunta 7 (Resolución de problemas). ¿Qué objetivo tiene una velocidad media mayor? (3 opciones).

Cabe destacar en los resultados de esta pregunta que hay un 10,5 % más de aciertos en el grupo experimental, así como una diferencia de 16,8 puntos para el grupo control en lo que se refiere a alumnos que no son capaces de obtener una expresión para el cálculo de la velocidad media (tabla 4).

Tabla 4.- Resultados para resolución de problemas en el MRU.

Nivel de complejidad	G. Control	% G. Control	G. Exp.	% G. Exp.
IV	12	54,5 %	13	65 %
III	3	13,6 %	4	20 %
II	2	9,1 %	0	0 %
I	5	22,7 %	3	15 %

A partir de los resultados estadísticos encontrados se ha establecido una relación entre los mismos y los obstáculos acerca de las variables que aparecen en la resolución de problemas (tabla 5).

Tabla 5.- Resultados para la contextualización del contexto del MRU.

PREGUNTA	G. CONTROL	G. EXP.	INCIDENCIA DEL OBSTÁCULO
¿Cuáles son las características principales del MRU?	Nivel IV: 4,5 % Nivel III: 50 % Nivel II: 13,6 % Nivel I: 31,8 %	Nivel IV: 35 % Nivel III: 50 % Nivel II: 10 % Nivel I: 5 %	La diferencia de 30,5 puntos en el nivel de comprensión óptima a favor del grupo experimental (y los 26,8 puntos de diferencia a favor del grupo control en el nivel de escasa comprensión), confirman la mejora de los alumnos tras la experiencia práctica, en especial en las variables CONOCIMIENTO Y APLICACIÓN.
¿Conoces ejemplos cotidianos de objetos, personas o animales que ejecuten un MRU?	Nivel IV: 31,8 % Nivel III: 4,5 % Nivel II: 45,5 % Nivel I: 18,2 %	Nivel IV: 30 % Nivel III: 30 % Nivel II: 25 % Nivel I: 15 %	Pese a que los resultados de los niveles I y III son parecidos, hay una gran mejora del nivel III (respuestas correctas pero incompletas) en el grupo experimental. La conclusión es que se minimizan los errores y por lo tanto se puede valorar una mejora en los obstáculos CONOCIMIENTO y APLICACIÓN.
¿Qué objeto tiene una velocidad media mayor?	Nivel IV: 54,5 % Nivel III: 13,6 % Nivel II: 9,1 % Nivel I: 22,7 %	Nivel IV: 65 % Nivel III: 20 % Nivel II: 0 % Nivel I: 15 %	Los resultados de esta pregunta inciden en la superación de dos obstáculos, por un lado el CÁLCULO, en el que al igual que en preguntas anteriores apreciamos mejora con la realización experimental, y también la COMPLICACIÓN derivado en este caso del manejo de variables con distintas unidades. Los resultados avalan una mejora de entre 7 y 10 puntos en cada nivel de complejidad a favor del grupo experimental.

6.- CONCLUSIONES

Problema 1: ¿Ayuda la experimentación en la enseñanza de las ciencias?

Es la conclusión más clara del trabajo, se ha demostrado cuantitativamente la capacidad de mejora que puede experimentar un grupo de alumnas y alumnos con una práctica de laboratorio planteada en torno a los parámetros establecidos. Es especialmente relevante la ayuda que la experimentación ofrece a nuestras alumnas y alumnos en la superación de los obstáculos agrupados en las variables aplicación, conocimiento y complicación.

Problema 2: ¿Ayuda la experimentación en la resolución de problemas?

Quizá porcentualmente la mejoría establecida en este bloque de preguntas no sea tan acusada como en otras, pero teniendo en cuenta la multitud de variables que giran en torno a la habilidad de un alumnos para resolver un problema planteado, creemos que el resultado obtenido con la realización de una actividad experimental de una sesión de duración es muy óptimo, en lo que se refiere a la mejora en resolución de problemas.

Problema 3: ¿Cuáles son los obstáculos encontrados en la comprensión de MRU?

Los obstáculos concretos que se han repetido con mayor constancia son la interpretación de la velocidad como variable del sistema (conocimiento), la relación de conceptos (complicación), el análisis matemático (cálculo) y extracción y relación de información con conocimientos adquiridos (aplicación).

Problema 4: ¿Es aconsejable una integración global de la experimentación en currículo escolar?

Entendemos que la respuesta a este problema es más personal que científica y, que al igual que existen trabajos que apoyan esta hipótesis, hay otros que inciden en la separación programática del aula y el laboratorio (entendemos que en estos tiempo todos asumimos la necesidad del mismo), pero en nuestra opinión y, en base al trabajo realizado y los resultados obtenidos, creemos que sí sería recomendable esta integración

BIBLIOGRAFÍA

- Colás, M. P. Y Buendía, I. (1992). *Investigación Educativa*. Sevilla, España: Alfar.
- Dumas-Carré, A. (1987). *La resolution de problemes en Physique au Lycée*. Tesis doctoral. Universidad de París 7.
- Dushl, R. Y Gitomer, D. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 839-858.
- España (1970). Ley 14/1970, de 4 de agosto, General de Educación y Financiamiento de la Reforma Educativa. *Boletín Oficial del Estado*, 6 de agosto de 1970, N° 187, p. 12525.
- España (1990). Ley Orgánica 1/1990, de 3 de octubre de 1990, de Ordenación General del Sistema Educativo. *Boletín Oficial del Estado*, 4 de octubre de 1990, N° 238, p. 28927.
- España (2006). Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. *Boletín Oficial del Estado*, 4 de mayo de 2006, N° 106, p. 17158.
- Gil, D. Y Carrascosa, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236.
- Gil, D., Furió, C., Valdés, P., Salinas, J., Martínez-Torregrosa, J., Guisasola, J., González, E., Dumas-Carré, A., Goffard, M. Y Pessoa De Carvalho, A. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de Las Ciencias*, 17 (2), 311-320.
- Gil, D. Y Valdés, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: ejemplo ilustrativo. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), 155-163.

- Hashweh, M. (1986). Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.
- Jiménez Pérez, R. Y Vázquez-Bernal, B. (2002). Estudio de las dificultades en resolución de problemas de física y química: desde la percepción de profesores de formación inicial y alumnos de ESO. En N. Elórtegui et al. (Ed.) *Actas de los XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales: Relación Secundaria Universidad*, vol. 2, 493-502. La Laguna: Universidad de La Laguna.
- Lijnse, P. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*. 26 (5), 537-554.
- Perales Palacios, F.J. (1993). La resolución de problemas: una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 1993, 11 (2), 170-178.
- Perales Palacios, F.J. (2000). *Resolución de Problemas*. Madrid: Síntesis.
- Tortosa, M., Guitar, J., Skorsepa, M., Urban-Woldrom, H., Stratilová-Urvalková, E., Smejkal. (2013). Los objetivos de actividades de laboratorio diseñadas para la adquisición de competencia científica mediante experimentos en tiempo real: visión del alumnado. *Enseñanza de las Ciencias. IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, 3547-3553.
- Vázquez Bernal, B. (2001) *Resolución de problemas en física y química: una aproximación a la evaluación de los obstáculos en alumnos de educación secundaria*. Memoria de Investigación. Universidad de Huelva.
- Vázquez-Bernal, B. Y Jiménez Pérez, R. (2001). Evaluación de obstáculos sobre la resolución de problemas en Profesores en formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, número Extra VI Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias: Retos de la Enseñanza de las Ciencias en el siglo XXI, 411-412.
- Wheatley, G. (1991). Constructivist perspectives on Science and Mathematics learning, *Science Education*, 75(1), 9-21.