

LAS REPRESENTACIONES CIENTÍFICAS EN ESTUDIANTES DE BACHILLERATO EN UN ENTORNO MULTI- REPRESENTACIONAL. ¿CÓMO IDENTIFICARLAS Y EVALUARLAS?

FERNANDO FLORES-CAMACHO

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO. UNAM

LETICIA GALLEGOS-CÁZARES

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO. UNAM

JESÚS MANUEL CRUZ CISNEROS

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES-SUR. UNAM

TEMÁTICA GENERAL: APRENDIZAJE Y DESARROLLO HUMANO

RESUMEN

En este trabajo se presenta la construcción de un cuestionario como instrumento de investigación y evaluación para determinar las representaciones de estudiantes de bachillerato sobre conceptos y procesos físicos, donde se da cuenta de las diferencias en las posibilidades de representación entre estudiantes que han asistido a clases tradicionales y aquellos que lo han hecho en laboratorios con tecnologías que permiten un entorno multirepresentacional. El instrumento pasó por los diversos criterios de validez (pertinencia, inteligibilidad, completitud y estructura equivalente) y pruebas de confiabilidad (coeficiente alpha de Cronbach de 0.75) y el Modelo de Crédito Parcial de Rasch. La versión final se aplicó a una muestra de 320 alumnos del sexto año de bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM. El análisis muestra además de cómo los alumnos representan de manera escrita, gráfica, y simbólica un proceso de colisión, y que aquellos que estuvieron en un ambiente enriquecido con diversos tipos de representación logran mejores descripciones y representaciones externas así como una mejor comprensión de conceptos como la tercera ley de Newton.

Palabras clave: Enseñanza de las ciencias, evaluación, representaciones

Introducción

En las últimas décadas, la investigación en el campo del aprendizaje de las ciencias ha transitado por varios enfoques y formas de enseñanza y sus correspondientes instrumentos de investigación y de evaluación. Por ejemplo, con el surgimiento del movimiento de las concepciones alternativas o ideas previas (Wandersee, Mintzes, y Novak, 1994; Duit y Treagust, 1998) se desarrollaron diversos instrumentos que mostraron la existencia de las ideas previas de los estudiantes, como el Inventario del Concepto de Fuerza (Force Concept Inventory) de Hestenes, Wells y Swackman (1992) y el Inventario de Conceptos Térmicos y de Transporte (Thermal and Transport Concept Inventory) de Miller et al, (2011).

Con el reconocimiento de las ideas previas se desarrollaron diversas teorías de cambio conceptual con diferentes aproximaciones epistemológicas y cognitivas (Flores, 2004), lo que contribuyó a mejorar los procesos didácticos y curriculares en la enseñanza de las ciencias (Duschl y Grandy, 2008). Sin embargo, esto no redituó en la comprensión de los conceptos científicos como se esperaba. Por ello, estas teorías se han replanteado para dar cuenta de las construcciones más cercanas a lo fenomenológico como son las representaciones y su dinámica de cambio (Gilbert, 2008; Pozo, 2014).

La idea de representación implica que el sujeto genera una estructura con la que puede inferir propiedades o cualidades posibles de lo que representa. En esa estructura, y en sus posibilidades de hacer predicciones y generar explicaciones, radica la importancia de las representaciones, puesto que se manifiestan como elementos útiles para interpretar y explicar los fenómenos (Flores y Valdez, 2007).

Las representaciones que pueden conocerse de los alumnos son las externalizadas, es decir, son todos aquellos elementos icónicos o simbólicos con los cuales se denotan lo que se representa y que se presentan a los alumnos como elementos de aprendizaje y para el pensamiento. La gráfica del movimiento de un objeto es una representación externa lo mismo que una ecuación, una oración, un esquema o una imagen. También lo son las representaciones dinámicas como las interacciones y simulaciones. Junto a esas representaciones externas están todos los elementos culturales y materiales que las hacen posible. El lenguaje, las matemáticas, las reglas de las gráficas, etc.

Las representaciones externas juegan, por tanto, un papel importante en el aprendizaje (Perkins, 1994). En especial Prain y Tytler, (2012) hacen notar que las representaciones externas contribuyen en la dimensión epistemológica que involucra dos aspectos; los epistémicos donde la construcción de modelos y variables de las representaciones funcionan como elementos constrictores de los procesos de los sujetos como la indagación y, la dimensión semántica donde se dota de significado a símbolos y herramientas simbólicas.

Justificación

Los distintos enfoques educativos requieren el desarrollo de instrumentos de evaluación e investigación que sean congruentes con sus supuestos y perspectivas. El caso de una visión educativa centrada en las representaciones, el cambio representacional y la multirepresentacionalidad, requiere, por tanto, instrumentos que den cuenta de la forma en la que los sujetos explicitan sus representaciones, sean estas expresadas en un lenguaje gráfico, simbólico o en una combinación de ambos. Lo anterior justifica la relevancia de construir instrumentos de investigación y evaluación

acordes con un proceso representacional y su dinámica. En el presente trabajo, se describe la construcción de un instrumento para determinar las representaciones de estudiantes del bachillerato que permite conocer las diversas formas descriptivas, interpretativas y explicativas de un tema como las colisiones.

Desarrollo

- **Muestra y contexto**

La muestra consistió de 552 estudiantes del bachillerato. Inicialmente para la validación del cuestionario participaron: 30 alumnos voluntarios de bachillerato en la fase de construcción del instrumento, 3 especialistas en física (validación de expertos) y 120 estudiantes del bachillerato para la validación estadística. En la fase final de aplicación participaron 302 alumnos, 158 pertenecientes a cuatro grupos de tres escuelas del CCH que tuvieron clases de manera tradicional y 144 pertenecientes a otros cuatro grupos de dos escuelas del CCH que tuvieron clase en los nuevos laboratorios del Bachillerato UNAM, mismos que cuentan con diversos medios tecnológicos. Las muestras fueron designadas por profesores voluntarios del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM que aceptaron aplicar con sus alumnos el instrumento en sus distintas fases; construcción, validación, aplicación.

- **Características del instrumento**

La construcción de un instrumento que pueda hacer explícitas las representaciones de los sujetos requiere de elaborar cuestionamientos que den pie a diversos niveles de explicitación (Kozma y Russell, 2005) lo cual puede lograrse con instrumentos orientados a la Integración de Conocimiento, es decir “la habilidad para generar ideas científicamente relevantes y uso de teorías así como de evidencia empírica para conectar ideas en la explicación de fenómenos científicos o justificar proposiciones acerca de un problema científico.” (Lee, Liu, Linn, 2011, p. 116). Atendiendo a estos aspectos de integración, continuidad y extensionalidad que deben propiciarse en el instrumento de investigación/evaluación, se tomaron en cuenta las siguientes características:

1. Presentar situaciones cotidianas fácilmente interpretables por los estudiantes.
2. Atender a conocimientos que, en principio, han sido analizados a lo largo de las trayectorias escolares de los alumnos.
3. Posibilitar un proceso de reelaboración de explicaciones a lo largo del instrumento.
4. Situaciones susceptibles de ser representados de diversas formas: verbal, simbólica y gráfica.

Estas características abarcan los elementos necesarios para que, a partir de las respuestas de los alumnos, puedan determinarse patrones de respuesta que den indicios sobre los posibles marcos representacionales con que cuentan y las diferencias entre estudiantes que han participado en situaciones escolares diferentes en lo referente al uso de diversas formas de representación externa en la escuela, como el uso de simuladores, mapas conceptuales, gráficas, etc., con que cuentan los laboratorios con herramientas para la multi-representacionalidad.

Estructura de los ítems

Como se ha apuntado los ítems tienen una estructura orientada a la explicación y, para su elaboración se siguieron las características definidas por Haladyna, Downing y Rodríguez (2002) y Lima (2009), en particular: Evitar ítems con truco; Utilizar un vocabulario simple; Poner la idea central en el texto; No usar oraciones en sentido negativo; Escribir preguntas en un contexto cotidiano.

Además de las consideraciones descritas, los ítems deben favorecer que los estudiantes expresen diversas formas de representación externa. A partir de ello, cada ítem implica una demanda donde los sujetos requieren: a) describir en forma escrita explicaciones y descripciones de situaciones; b) elaborar esquemas y dibujos; c) hacer uso de los símbolos gráficos correspondientes al tema; d) construir e interpretar gráficas y e) hacer inferencias a partir de situaciones de medición posibles. El cuestionario elaborado para el tema de colisiones tiene un total de 24 ítems, 12 para una colisión de dos vehículos y 10 para la colisión de una pelota con el piso.

Temática de análisis

Si bien, toda temática de la ciencia escolar es factible de analizarse, dadas las características y el propósito de este instrumento, es necesario considerar una temática que presente, para su comprensión un importante aporte de diversas formas de representación. Pero, además, que sea una temática que se haya investigado previamente para tener referentes comparables, que presente cierto nivel de dificultad de comprensión para que el instrumento pueda captar formas de argumentación y descripción y, finalmente, que haya sido motivo del currículo de los alumnos. Dentro de esa caracterización, el tema de colisiones implica la comprensión del concepto de fuerza, aceleración, velocidad y, particularmente la segunda y tercera ley de Newton, y cumple con los requisitos planteados.

Proceso de validación

Para la validación del instrumento se siguieron los siguientes criterios:

Inteligibilidad de los ítems: Para determinar si las preguntas podían ser comprendidas se llevó a cabo una prueba con 15 estudiantes de diversos semestres (primera versión). Del resultado se modificaron aquellos ítems que de manera clara inducían a los alumnos a respuestas alejadas de lo esperado.

Completitud de los ítems. Para garantizar que los ítems puedan ser respondidos de manera adecuada y que la información que proporcionan es suficiente para dar una respuesta amplia y correcta desde el punto de vista físico, cada cuestionario se aplicó a tres profesionales (segunda versión del instrumento). Del análisis de sus respuestas se llevaron a cabo ajustes al cuestionario además de constituir la base para la construcción de la rúbrica que sirvió para la asignación de valores.

Pertinencia de los ítems. Para este rubro, se llevó a cabo la aplicación del cuestionario a estudiantes del semestre al que está destinado. Se aplicó a 15 estudiantes que cursaban la materia de física en el CCH (tercera versión). Esta aplicación mostró que los ítems eran comprendidos de manera suficiente, que proporcionan las ideas de los alumnos de manera clara para poder analizarlos en términos de lo que se espera tanto en los aspectos de representacionalidad como de comprensión

de los conceptos físicos. Con lo anterior se consideran cubiertos los aspectos principales para garantizar la validez del cuestionario de acuerdo a Neumann, Neumann y Nehm (2011). Un ejemplo de los ítems se muestra en la figura 1.

INSTRUCCIONES: Contesta las siguientes preguntas acerca de las dos situaciones presentadas.

SITUACIÓN 1:

En una autopista, un tráiler y un auto compacto chocan de frente. Afortunadamente, ambos conductores resultan ilesos...

1.1. ¿Cuál de estos dos vehículos sufre más daños? Explica el porqué.

1.2. ¿Cuál de los dos conductores habrá *sentido* más el choque: el del tráiler o el del auto compacto? Explica el porqué.

1.3. ¿El impacto del tráiler sobre el auto compacto es mayor, menor o igual que el impacto del auto sobre el tráiler? Explica el porqué.

1.4. En la siguiente figura correspondiente a esta situación, dibuja la fuerza o las fuerzas presentes en el momento del choque entre ambos vehículos. También, explica qué representa lo que has dibujado.



Figura 1. Ejemplo de los ítems en la versión refinada.

Para la confiabilidad, se construyó una rúbrica para asignar valores a los ítems. Proceso que fue llevado a cabo por tres especialistas para garantizar criterios uniformes. Posteriormente se aplicó como criterio general de confiabilidad la consistencia interna (AERA, APA y NCME, 2004) - medida con la alfa de Cronbach - y, para analizar el comportamiento de los ítems y el equilibrio del instrumento se utilizó el modelo de Crédito Parcial de Rasch (Lee, Liu y Linn, 2011; Yen y Fitzpatrick, 2006).

Resultados

Los datos para la confiabilidad del cuestionario fueron analizados con el método de consistencia interna (SPSS) y con el Modelo de Crédito Parcial de Rasch (Winstep), los resultados se presentan en la Tabla I.

Tabla I. Resultados de pruebas de confiabilidad y de complejidad del cuestionario.

Confiabilidad (Alpha de Cronbach)	de Nivel	Modelo de Crédito Parcial de Rasch Porcentaje por	Calibración	Dificultad
0.75		Nivel 1; 9%	± 1 logit	-0.78 a 0.53
		Nivel 2; 20%		
		Nivel 3; 26%		
		Nivel 4; 35%		
		Nivel 5; 10%		

El Modelo de Crédito Parcial de Rasch permitió tomar en cuenta los niveles de integración de conocimiento utilizado para la rúbrica de cinco niveles. El nivel 1 implica que no hay respuesta o esta no corresponde en nada a la pregunta y el nivel 5 corresponde a una respuesta equivalente a la de los expertos. De acuerdo a estos resultados, más del 50% de los estudiantes de la muestra contestaron en los niveles 3 y 4.

Discusión

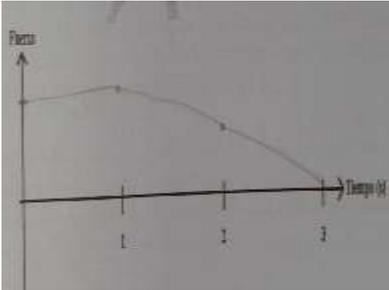
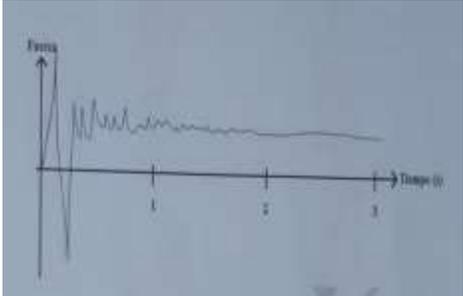
El proceso de validez y los datos de consistencia del instrumento y de distribución de complejidad de los ítems (de acuerdo al Modelo de Crédito Parcial de Rasch) dan cuenta de un instrumento confiable para ser aplicado en alumnos del bachillerato. Sin embargo, queda la pregunta de si a partir del instrumento se están obteniendo y es posible evaluar el nivel de representación científica de los alumnos. Desde nuestro punto de vista el instrumento es efectivo para ese propósito por las siguientes razones. En primer lugar las respuestas a los ítems muestran diferentes representaciones externas evidenciados por el número diverso de conceptos y relaciones que expresan los estudiantes en sus argumentos.

En segundo lugar podemos notar como a partir del instrumento es posible encontrar diversos niveles que indican a su vez, representaciones de menor o mayor complejidad en términos conceptuales. Estos niveles de representación se distinguen a partir de la correspondencia entre lo que los estudiantes elaboran (escrito, gráfico o simbólico) y lo correspondiente a la ciencia escolar (también en lo escrito, gráfico y simbólico).

Diferencias en las representaciones de los estudiantes. La evaluación con la rúbrica muestra el número y tipo de representaciones que los estudiantes elaboran de acuerdo a diversos conjuntos de ítems, y para poder conocer las diferencias entre los alumnos con contextos distintos (enseñanza tradicional vs con tecnologías que posibilitan representaciones diversas) se aplicó una prueba de

Mann-Whitney. Los resultados muestran diferencias significativas en 11 ítems, donde los estudiantes de los laboratorios con tecnología tuvieron mejores descripciones, esquemas más de fuerzas y vectores más precisos así como de gráficas de fuerza en el tiempo. Varios de esos ítems muestran que hay una mejor comprensión de la tercera ley de Newton y su forma de representarla. Un ejemplo de las diferencias en cómo los estudiantes describen en una gráfica fuerza – tiempo, el momento del choque de los vehículos y de su comprensión de la Tercera ley de Newton se muestra en la tabla II.

Tabla II. Ejemplos de respuesta de los ítems 4 y 12* entre los distintos contextos escolares.

Concepto representado	Nivel 1	Nivel 2
Fuerza en el tiempo y Tercera ley de Newton	<p>Ítem 4. Describe el instante de la colisión como una fuerza que decrece lentamente.</p>  <p>Ítem 12. “La fuerza en el trailers es pequeña que la fuerza en el auto en el instante de la colisión”</p>	<p>Ítem 4. Describe el instante de la colisión como una fuerza rápida e intensa.</p>  <p>Ítem 12. “La fuerza de ambos vehículos en el instante de la colisión es la misma pero en diferente dirección”.</p>

*Ítem 4. En la siguiente figura dibuja la fuerza o fuerzas en el tiempo en el momento del choque de los vehículos (UMan-Whitney = 9196.00, $p \leq .002$); Ítem 12. Si alguien te pregunta si en este caso se puede aplicar la tercera ley de Newton, ¿qué le respondes y cómo lo explicas? (UMan-Whitney = 8737.50, $p \leq .000$).

Conclusiones

El proceso descrito muestra una posibilidad de construcción de instrumentos confiables para determinar y evaluar las representaciones de los alumnos en temas de física que proporcionen, además de los elementos de comprensión, las posibilidades interpretativas que tienen los alumnos y, con ello, tener mejores parámetros en el campo de investigación para seguir su proceso de construcción y, en el contexto escolar para evaluar su conocimiento.

Desde luego que el instrumento que se presenta no es más que una propuesta que puede orientar el desarrollo de instrumentos equivalentes en otros temas de la ciencia, que consideramos, puede ser de utilidad al reciente enfoque representacional en la enseñanza de las ciencias.

Agradecimientos

Este estudio contó con el apoyo del CONACYT Proyecto CB-238712. Queremos agradecer a Cynthia Lima González, Fernando Vega Calderón, Nancy Montes Calva, Alejandra Fonseca Velázquez, Sheila Sánchez-Laso, Claudia Velázquez Olmedo y Felipe Cabrera Martínez por su valiosa participación en el trabajo.

Referencias

- AERA, APA y NCME (American Educational Research Association, American Psychological Association, National Council on Measurement in Education) (2004). Standards for educational and psychological testing. Washington, DC: AERA.
- Duit, R. & Treagust, D. F. (1998). Learning in science- from behaviourism towards social constructivism and beyond, en B. Fraser & K. Tobin (Eds.), International handbook of science education, Part 1, (pp. 3-25). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Duschl, R. & Grandy, R. (2008). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Framing the debates, en R. Duschl & R. Grandy (Eds.), Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation, (pp. 1-37). Rotterdam, Netherlands: Sense Publishers.
- Flores, F. (2004). El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas. Educación Química, 15, 256-269.
- Flores, F. y Valdez, R. (2007). Enfoques epistemológicos y cambios representacionales y conceptuales, en J. Pozo y F. Flores (Eds.), Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia, (pp. 21-35). Madrid: Antonio Machado Libros.
- Gilbert, J. (2008) Visualization: an emergent field of practice and enquiry in science education, en J.K Gilbert, M Reiner y M. Nakhleh (Eds.) Visualization: Theory and practice in science education, (pp. 1-2). Netherlands: Springer.
- Haladyna, T., Downing, S. m. y Rodríguez, M. C. (2002) A review of multiple-choice item-writing guidelines for classroom assessment, Applied Measurement in Education, 15(3), 309-333.
- Hestenes, D., Wells M. and Swackhamer G. (1992) Force concept inventory, The Physics Teacher, 30, 141 – 158.

- Kozma R y Russell J. (2005). Students becoming chemists: developing representational competence, en J. Gilbert (Ed.) *Visualization in Science Education*, (pp. 121-146). Netherlands, Springer.
- Lee, H-S., Liu, O, L y Linn M. (2011) Validating measurement of knowledge integration in science using multiple-choice and explanation items, *Applied Measurement in Education*, 24(2), 115-136; DOI: 10.1080/08957347.2011.554604.
- Lima C. E (2009). Changes in state of matter: A study of validity of Texas math and science diagnostic system. Austin: Texas University (Master Thesis).
- Miller, R. L., Streveler, R., Yang D. and Santiago Román A. I, (2011). Identifying and repairing student misconceptions in thermal and transport science: Concept inventories and schema training studies, *Chemical Engineering Education*, 45(3), 203 – 210.
- Newmann I., Neuman K. y Nehm R. (2011). Evaluating instrument quality in science education: Rasch-based analyses of a nature of science test, *International Journal of Science Education*, 33(10), 1375 – 1405.
- Prain, V., y Tytler, R., (2012). Learning through constructing representation in science: A framework or representational construction affordances, *International Journal of Science Education* , 34(17), 2751-2773.
- Perkins, D., (1994). A new look in representations for mathematics and science learning, *Instructional Science* , 22, 1-37.
- Pozo, J. I., (2014) Aprendizaje de la ciencia mediante múltiples sistemas de representación, en F. Flores (Ed.) *Las Tecnologías Digitales en la Enseñanza Experimental de las Ciencias: Fundamentos Cognitivos y Procesos Didácticos*, (pp. 13-31). México: UNAM – Porrúa.
- Wandersee, J., Mintzes, J., y Novak, J., (1994). Research on alternative conceptions in science, en D. Gabel (Ed.) *Handbook of research on science teaching and learning*, (pp. 177-210). New York: Mcmillan Publishing Company.
- Yen W. M y Fitzpatrick A. R. (2006). Item response theory, en R. Brennan (Ed.) *Educational Measurement*, (pp. 111-154). American Council of Education, Praeger.