

Desarrollo del pensamiento formal mediante análisis y evaluación de información científica



Luis Vázquez¹, Pilar Segarra²

¹*Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur, Universidad Nacional Autónoma de México.*

²*Facultad de Ciencias, Departamento de Física, Universidad Nacional Autónoma de México.*

E-mail: luis.vazquez@ciencias.unam.mx

(Recibido el 30 de marzo de 2016; aceptado el 15 de abril de 2017)

Resumen

Se presenta el diseño y evaluación de planes de clase que intentan promover en los estudiantes de bachillerato que cursan la materia de física por primera vez, el desarrollo del pensamiento formal que les permita comprender fenómenos físicos así como a analizar y evaluar información proporcionada por diversos medios. Durante el periodo de marzo a junio de 2015 se trabajó con un grupo de estudiantes de bachillerato el tema de ondas mecánicas y se diseñó una evaluación que permitió establecer el tipo de razonamiento utilizado por los estudiantes para dar explicación a distintos fenómenos. Hay que recordar que en la solución de problemas no se trabaja directamente con realidades percibidas sino con enunciados que requieren un pensamiento hipotético deductivo que sólo se logra en el estadio de las operaciones formales. Los resultados obtenidos muestran que los estudiantes de la población trabajada son capaces de recordar y aplicar conceptos y expresiones matemáticas, sin embargo carecen de habilidades de comprensión, análisis y evaluación de información cualitativa y cuantitativa. Estos datos concuerdan con la literatura donde se reporta que sólo el 30% de la población escolarizada de 11 a 16 años ha desarrollado el pensamiento formal y que únicamente el 50% de los estudiantes universitarios están en la etapa formal. Con base en estos resultados se realizó una nueva programación para guiar y hacer énfasis en el tipo de razonamiento que se requiere en los problemas, y se está aplicando en el semestre agosto- diciembre 2015 con una población análoga. En este trabajo se muestran los resultados obtenidos con las dos poblaciones, así como el tipo de problemas para clasificar los niveles de pensamiento que están utilizando los estudiantes.

Palabras clave: Pensamiento formal, enseñanza de la física, bachillerato.

Abstract

It is presented, in this work, the design and evaluation of lesson plans that try to promote in high school students the development of formal thinking. This is the first time, in high school, that these students are enrolled in a physics class. Formal thinking allows people to understand physical phenomena and to analyze and evaluate information provided by various means. The theme of mechanical waves was worked with a group of high school students, during the period from March to June 2015. The assessment was designed to evaluate the kind of reasoning students' used to explain various phenomena. It is important to remember that in problem solving people do not work directly with perceived realities but with statements that require a hypothetical deductive thinking only achieved at the stage of formal operations. The results of this sample show that they are able to recall and apply concepts and mathematical expressions, however they lack comprehension skills, analysis and evaluation of qualitative and quantitative information. These data are consistent with the literature where it is reported that only 30% of the school population of 11-16 years has developed formal thinking and that 50% of college students are only in the formal stage. Based on these results a new class design was made to guide and focus on the kind of reasoning that is required in problem solving. It is being implemented in the semester August- December 2015 with a similar population. This paper presents the results obtained with the two populations, and the type of problems used to classify thinking levels used by students.

Keywords: Formal thinking, teaching physics in high school.

PACS: 01.30.lb, 01.40.G-, 01.40.Fk

ISSN 1870-9095

I. PENSAMIENTO FORMAL Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN FÍSICA

En física se utilizan representaciones múltiples como la verbal, la pictográfica, la gráfica y la algebraica para la resolución de problemas [1], y se utilizan modelos para dar explicación a los fenómenos naturales, estos modelos y

representaciones requieren de un pensamiento formal o hipotético-deductivo [2], ya que se deben de analizar las variables que intervienen en un fenómeno así como la relación entre ellas, de acuerdo con la teoría piagetiana el estadio de las operaciones formales se desarrolla entre los 12 y 15 años de edad, sin embargo teorías como la de Vygotski señalan (...“(.) que donde el medio no presenta al

adolescente las tareas adecuadas, no le plantea exigencias nuevas, no despierta ni estimula el desarrollo de su intelecto mediante nuevas metas, el pensamiento del adolescente no despliega todas sus posibilidades, no llega a alcanzar las formas superiores o las alcanza con gran retraso.”) [3], por lo que la edad de los adolescentes mexicanos no es un factor que necesariamente determine que han desarrollado el pensamiento formal y por lo tanto la falta de este tipo de pensamiento es desfavorable para el buen desempeño de los estudiantes de bachillerato al cursar la materia de física.

La literatura reporta que sólo el 30% de la población escolarizada de esta edad ha desarrollado el pensamiento formal y que únicamente el 50% de los estudiantes universitarios están en la etapa formal [4].

Considerando las teorías cognitivas, los profesores deben de establecer objetivos en sus secuencias didácticas que consideren el desarrollo cognoscitivo de sus estudiantes y para ello es conveniente utilizar alguna taxonomía como la de Anderson y Krathwohl [5], en la que se presentan dimensiones del conocimiento y de los procesos cognitivos. El análisis y la evaluación son de los procesos cognitivos más complejos ya que requieren que los alumnos desglosen las partes involucradas en un fenómeno y que encuentren la relación entre ellas para poder explicar y predecir sucesos, además de generar juicios para tener certeza de haber formado una explicación lógica y coherente.

En el diseño de secuencias es importante considerar diversos factores, como lo son los factores situacionales, la motivación, la población, las características del profesor y las herramientas con las que cuenta [6], además del uso de formas de trabajo diversas que favorezcan a las distintas formas de aprendizaje, un ejemplo es el trabajo colaborativo, el cual favorece al aprendizaje de los alumnos al realizarse una auténtica construcción conjunta con los otros ya que la unidad de análisis ya no está centrada en el sujeto sino en las interacciones con los otros [7], en el caso de los adolescentes con sus semejantes.

Es fundamental evaluar los aprendizajes de los estudiantes antes, durante y al final de aplicar una estrategia para poder identificar a los alumnos que están en riesgo, para conocer sus habilidades de razonamiento y para comparar lo que sabían con lo que aprendieron [8], la revisión grupal es más efectiva cuando ellos comparan sus respuestas con las proporcionadas por expertos ya que les permite identificar sus propios errores y realizar los ajustes necesarios para tener explicaciones correctas y/o completas [9].

II. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

Se trabajó con dos grupos del Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur (CCH Sur) del turno matutino de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el primer grupo se solicitó al profesor encargado para poner a prueba la estrategia diseñada para el tema de ondas mecánicas, este grupo estuvo conformado por 25 adolescentes, la mayoría entre 17 y 18 años de edad que cursaban por primera vez la materia de física II, la cual es

obligatoria en el cuarto semestre del colegio y subsiguiente de la materia de física I.

El segundo grupo estuvo conformado por 28 alumnos, la mayoría entre 16 y 17 años de edad que cursaban por primera vez la materia de física I, la cual es obligatoria en el tercer semestre del colegio; en este grupo se trabajó el tema de movimiento rectilíneo uniforme (MRU) y movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA).

Cabe señalar que la primera estrategia se aplicó en un grupo que estaba a cargo de su profesor titular, mientras que la segunda estrategia se aplicó en un grupo en el que el autor del presente artículo estuvo a cargo durante todo el semestre.

Una diferencia en el diseño de los planes de clase que los distingue de planeaciones tradicionales es que se trabajaron problemas contextualizados, en el caso de ondas mecánicas se abordaron temas sobre estudios con ultrasonido, sismos, terminología en acústica, características de la voz y comunicación entre animales como elefantes, murciélagos y delfines. En el caso de MRU y MRUA se utilizaron contextos relacionados con carreras de automóviles, supervivencia de una presa ante un depredador, importancia del uso del cinturón de seguridad y competencias olímpicas sobre hielo.

A. Secuencia de ondas mecánicas

Para la primera secuencia se trabajó el tema de ondas mecánicas, se diseñaron los planes de clase con base en los aprendizajes señalados en la primera unidad del programa de estudios vigente de Física II del CCH y con los modelos de enseñanza presentados en Eggen y Kauchak [6].

Se realizó una clasificación de los aprendizajes por nivel cognoscitivo para establecer los objetivos de cada una de las sesiones y con base en ellos, en los factores situacionales del grupo, en los contenidos del programa de estudios, en las corrientes de enseñanza y en el tipo de población, se diseñaron los planes de clase para formar la secuencia didáctica.

Los objetivos de cada sesión se redactaron utilizando los verbos de los niveles taxonómicos de Anderson y Krathwohl [5], con el propósito de facilitar el diseño de las estrategias y mantener la coherencia con las actividades propuestas, tanto de desarrollo como de evaluación.

En esta secuencia se hizo énfasis en la relación de variables para las ecuaciones que describen el comportamiento ondulatorio como son la relación entre frecuencia y periodo, entre frecuencia y longitud de onda, entre longitud de onda y velocidad de propagación así como entre energía, amplitud y frecuencia. Para analizar dichas relaciones se llevaron a cabo experimentos con un *slinky* de metal, además del uso de recursos multimedia como refuerzo y como material para las sesiones de aula invertida, estos materiales junto con enlaces a páginas web y archivos de elaboración propia fueron compartidos mediante un grupo creado en Facebook en donde se mantuvo comunicación constante con los alumnos para solucionar dudas.

B. Secuencia de MRU y MRUA

En la segunda secuencia se trabajaron los temas de MRU y MRUA, las secuencias fueron diseñadas con el objetivo principal de que los alumnos interpreten información científica a partir de la representación gráfica, que de acuerdo con la taxonomía de Anderson y Krathwohl [5], corresponde a niveles de análisis, además como parte importante en la formación de los estudiantes la evaluación correspondiente también fomentó la evaluación de información que corresponde al nivel siguiente de acuerdo con la taxonomía mencionada.

Se utilizaron los mismos métodos de enseñanza de la primera secuencia además del aula invertida [10] y del modelo de argumentación [11], en este caso se enfatizó el análisis gráfico y la evaluación de información científica proporcionadas por diversas fuentes, como revistas, páginas web y videos, los problemas abordados en las secuencias fueron problemas contextualizados en el ámbito biológico, deportivo y tecnológico.

Al igual que en la primera secuencia, se utilizaron como herramientas de trabajo Facebook, YouTube, libros de texto, revistas y páginas web.

III. DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN

En la última sesión de cada secuencia se llevó a cabo una evaluación, para ondas mecánicas se aplicó un examen que constó de dos partes, la primera contenía cinco afirmaciones, las cuales, tenían que ser identificadas como falsas o verdaderas de manera justificada, es decir, no solo se identificaba la veracidad o falsedad de las oraciones sino que los estudiantes tenían que elaborar argumentos para sustentar su respuesta; la segunda parte consistió de un problema tradicional, es decir, un ejercicio de libro de texto que fue modificado y adaptado para evaluar varios conceptos y procesos en una sola pregunta.

Las afirmaciones utilizadas en la primera parte se diseñaron para evaluar el nivel cognitivo alcanzado por los estudiantes en el tema de ondas mecánicas, el contexto elegido fue el de ondas sonoras, particularmente en notas musicales, ya que fue el tema con el que se contó de un mayor número de elementos para abordarlo y el que resultó más motivante en las sesiones de trabajo con los estudiantes, el problema utilizado para la segunda parte del examen se seleccionó de acuerdo a temáticas de ondas mecánicas que no fueran de sonido, en este caso se trató un problema de ondas sísmicas y otro de ultrasonido, se presentaron ambas opciones y cada estudiante pudo elegir el problema que decidiera solucionar.

El puntaje total del examen establecido fue de 20 puntos, los niveles taxonómicos con el que se diseñaron las afirmaciones fueron: recuerdo, comprensión, aplicación, análisis y evaluación, el puntaje asignado a cada afirmación fue de 1, 2, 3, 4 y 5 puntos respectivamente y el problema de la segunda parte tuvo un valor de 5 puntos, así se condujo a

los estudiantes a empeñarse en resolver de forma correcta los problemas de mayor valor.

Los argumentos utilizados para justificar la veracidad o falsedad de las afirmaciones quedaron abiertos, es decir, los estudiantes pudieron elegir el tipo de representación con el que se sintieran cómodos y que consideraran suficiente para justificar su respuesta, entre los tipos de representaciones utilizados se encontraron el verbal o escrito en el caso del examen, el gráfico, el de diagramas y el matemático; la puntuación asignada al momento de realizar la calificación fue de 1 punto si el estudiante de alguna forma podía identificar la veracidad de la afirmación y obtenía la puntuación completa si además el argumento que proporcionaba mantenía coherencia con su decisión, el valor de cero puntos solamente se utilizó en los casos en que el estudiante identificaba de forma errónea si la afirmación era cierta o falsa.

En el caso del problema se asignaron los 5 puntos a las personas que desarrollaban todo el problema de forma coherente, incluyendo procedimientos, resultados y unidades, en caso de que el resultado no fuera coherente con el contexto del problema o no se presentara con las unidades correctas, se restaba un punto ya que estos factores mostraban la falta de evaluación del estudiante tanto en la solución como en el procedimiento, en el caso de que hubiera un desarrollo parcial del problema sin una conclusión se asignaron 2.5 puntos y finalmente, si la totalidad del desarrollo del problema era errónea se calificó con cero puntos.

En el caso de ondas mecánicas, la información proporcionada fue la frecuencia de las notas musicales do, re, mi, fa, sol, la y si, ordenadas en forma creciente conforme a su valor numérico, además de un enunciado en donde se afirmaba que las notas musicales son sonidos de frecuencia determinada e independiente del instrumento con el que se toquen mientras que para el MRU y MRUA se proporcionó la gráfica de una carrera olímpica entre dos competidores.

Para los temas de MRU y MRUA se diseñó una evaluación análoga al de ondas mecánicas ya que nuevamente los alumnos tenían que identificar la veracidad o falsedad de oraciones que hacían referencia a una gráfica de la carrera de Usain Bolt en los juegos olímpicos de Beijing 2008 cuyos datos fueron adaptados a partir del análisis de la carrera según Eriksen [12]. En este caso se omitió el problema tradicional ya que la demanda cognitiva de la evaluación requería de mucho tiempo de análisis e interpretación y la prueba estuvo limitada a una hora de duración.

El puntaje se asignó de la misma manera que en el caso de la evaluación de ondas mecánicas por lo que el valor total fue de 15 puntos, las respuestas proporcionadas por los alumnos podían ser indicaciones sobre la gráfica, descripciones verbales, cálculos numéricos o desarrollo de diagramas.

IV. RESULTADOS

Cada una de las evaluaciones se realizó de manera individual y estuvo limitada a una hora de duración, los alumnos

únicamente pudieron hacer uso de formulario y calculadora y antes de iniciar la prueba se les dieron las indicaciones necesarias para que estuvieran conscientes de las condiciones que tenían que cumplir sus respuestas para obtener el puntaje máximo; en la clase inmediata posterior se trabajaron las respuestas de forma grupal para que cada uno pudiera identificar sus errores o bien para conocer las diversas formas en que se podía argumentar cada una de las preguntas presentadas en el instrumento, esto concuerda con las recomendaciones hechas por Gadgil *et al.* [9] donde propone como una herramienta de aprendizaje y reforzamiento que los propios estudiantes analicen las razones de sus errores.

La calificación obtenida se tomó en cuenta para el promedio de fin de curso, de manera que cada uno de los alumnos tenía el compromiso de responder lo mejor posible en caso de querer obtener una buena nota.

Con base en los criterios de asignación del puntaje en el instrumento de evaluación se graficaron los resultados obtenidos para el tema de ondas mecánicas y en los de MRU y MRUA, posteriormente se analizaron las gráficas considerando los niveles cognitivos y el tipo de respuestas proporcionadas por los alumnos para identificar el tipo de argumentación utilizada en la justificación de sus respuestas y con ello poder diseñar estrategias para fortalecer el aprendizaje de los alumnos para que alcancen niveles altos en la taxonomía de Anderson y Krathwohl como el análisis y la evaluación.

Tanto en la evaluación de ondas mecánicas como en la de MRU y MRUA se obtuvieron respuestas en representación algebraica, pictográfica y verbal, también se obtuvieron respuestas en blanco y otras que estaban totalmente desligadas al fenómeno presentado, lo que muestra el tipo de razonamiento utilizado por cada uno de los alumnos además de sus habilidades para analizar cifras, realizar diagramas o bien expresarse verbalmente, estos resultados permiten brindar apoyo personalizado a los alumnos con bajo rendimiento y también pueden ser considerados para sesiones posteriores en el trabajo colaborativo ya sea para formar equipos con integrantes que utilizan las mismas representaciones o bien para incluir diversidad de éstas en un mismo equipo y así enriquecer su trabajo, además de fomentar el apoyo entre pares.

Las respuestas obtenidas en el problema tradicional solamente contenían información algebraica y pictográfica pero carecían de información verbal.

A. Resultados de la evaluación de ondas mecánicas

Se presentan los resultados de la evaluación del tema de ondas mecánicas, además de los resultados para cada uno de los niveles cognitivos trabajados se presentan los del problema tradicional para resaltar las ventajas que tiene el instrumento elaborado sobre las evaluaciones tradicionales que se basan en su mayoría en la resolución de problemas de libros de texto.

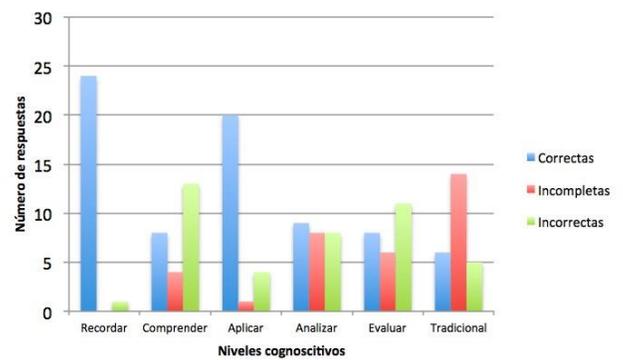


FIGURA 1. Resultados de la evaluación correspondiente al tema de ondas mecánicas para una población de 25 personas, los niveles de comprensión, análisis y evaluación presentan deficiencia cognitiva al tener el mayor número de respuestas incorrectas e incompletas.

En la figura 1 se muestra el número de respuestas correctas, incompletas e incorrectas de cada uno de los niveles cognitivos incluidos en el instrumento de evaluación referente a ondas mecánicas, se puede observar que los niveles de recuerdo y aplicación son los que obtuvieron un mayor porcentaje de respuestas correctas, mientras que los niveles restantes están por debajo del 50% de la población.

En los resultados del problema tradicional se observa que la mayoría de los alumnos proporcionaron respuestas incompletas, mientras que un porcentaje muy pequeño respondió de forma correcta o incorrecta.

Al analizar las respuestas proporcionadas por los alumnos, se encontró que eran capaces de recordar terminología vista en clase al argumentar con base en el valor de la frecuencia si un sonido es más agudo o grave que otro, también tenían habilidades para aplicar ecuaciones en la resolución de problemas al poder utilizar la relación entre frecuencia y periodo para comparar las magnitudes de dichas variables dadas dos notas musicales distintas, sin embargo carecían de la comprensión de la producción de sonido ya que se presentaron respuestas en las que los alumnos afirmaban que el sonido producido por una cuerda de guitarra es una onda transversal e incluso aquellos que realizaron diagramas para justificar esta respuesta dejaban por un lado el medio de propagación del sonido y se basaban únicamente en la vibración de la cuerda, lo que es muy característico del pensamiento concreto ya que solamente representan lo que ven cuando se toca una cuerda pero no se da la construcción de una explicación que justifique porque eso que es observable es capaz de producir ondas longitudinales que se propagan en aire.

En cuanto al análisis y a la evaluación, fueron los niveles cognitivos que presentaron el menor número de respuestas correctas ya que los alumnos no lograron identificar las variables que cambian y las que se mantienen constantes cuando una onda sonora cambia de medio de propagación, así como la relación entre ellas, tampoco pudieron verificar si la información numérica presentada mantenía coherencia

con el contexto del problema presentado en el nivel de evaluación.

Las respuestas proporcionadas en el problema tradicional mostraban deficiencia del uso de prefijos, del uso de unidades de medida, de conversiones de unidades y del manejo de ecuaciones, por lo que los cálculos numéricos resultaron incorrectos, en este sentido la falta de evaluación de la información numérica impidió a los alumnos tener certeza sobre el desarrollo del problema y del resultado obtenido.

Al comparar las respuestas de la primera parte de la evaluación con las respuestas del problema tradicional se observó que al momento de resolver problemas numéricos los alumnos omiten enunciados que justifiquen cada uno de los pasos que realizan, que carecen de habilidades matemáticas y que la resolución de un problema concluye en el momento en el que se obtiene una cifra [13], lo que muestra un hábito deficiente de evaluar su propio desarrollo, procedimiento y cálculos numéricos.

Trabajar con el instrumento elaborado con base en los niveles cognitivos permitió conocer el tipo de deficiencias de los alumnos, modificar la secuencia para reforzar los niveles con mayor deficiencia cognitiva, hacer énfasis en el uso adecuado de las herramientas matemáticas, conocer las dificultades particulares de los alumnos y diseñar secuencias que incluyan problemas acordes al nivel de pensamiento de los alumnos pero que no dejen de representar retos que promuevan de forma paulatina el desarrollo del pensamiento formal y con ello alcanzar niveles de análisis y evaluación, lo que es más complicado trabajando con evaluaciones basadas únicamente en la resolución de problemas numéricos de libros de texto.

Estos resultados fueron utilizados para diseñar la secuencia de MRU y MRUA dando prioridad a la comprensión de los fenómenos físicos, a la interpretación y a la argumentación.

B. Resultados de la evaluación de MRU y MRUA

Se presentan los resultados de la evaluación correspondiente al MRU y MRUA, la demanda cognitiva del instrumento de evaluación correspondiente a estos temas es superior a la de ondas mecánicas ya que la información proporcionada en este caso corresponde a una gráfica de velocidad contra tiempo de una carrera olímpica entre dos competidores por lo que se requiere del manejo de información gráfica. Esto supone la capacidad de los estudiantes de poder transformar la información proporcionada en una representación gráfica a una representación verbal, pictográfica y/o algebraica que se ajuste a sus habilidades de razonamiento y que les permita trabajar con la información para dar solución al problema.

En el caso de MRU y MRUA se puede observar que los niveles de recuerdo y comprensión son los que presentan un mayor número de respuestas correctas, esto se logró ya que la secuencia correspondiente se diseñó para fortalecer la comprensión dados los resultados obtenidos en la secuencia de ondas mecánicas, sin embargo el nivel de aplicación muestra deficiencia en comparación con la figura 1, esto se atribuye a la distribución de tiempos ya que la mayoría se

destinó a fortalecer el nivel de comprensión mediante el análisis de gráficas y solución de problemas con base en éstas y no mediante el uso algorítmico de ecuaciones.

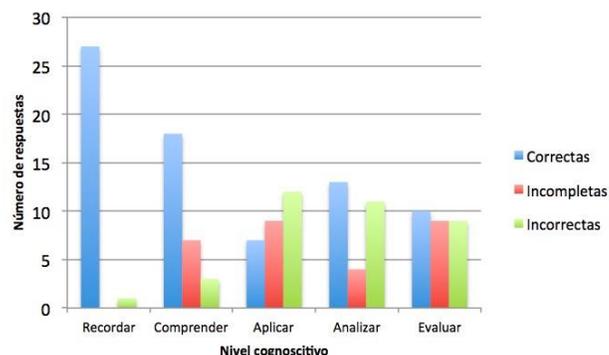


FIGURA 2. Resultados de la evaluación correspondiente a la secuencia de MRU y MRUA para una población de 28 personas, los niveles de recuerdo y comprensión presentan mejoras respecto a los resultados de la secuencia de ondas mecánicas, al igual que el análisis y la evaluación aunque en menor medida, el nivel de aplicación presenta deficiencia de respuestas correctas.

Los niveles de análisis y evaluación junto con el de aplicación muestran menos del 50% de respuestas correctas, lo que sugiere que se debe de hacer énfasis en estos niveles para fortalecer el aprendizaje de los alumnos y fomentar su desarrollo cognitivo.

C. Comentarios generales

Al comparar los resultados de la segunda secuencia con los de la primera se aprecia un aumento de respuestas correctas en comprensión, análisis y evaluación y solamente el nivel de aplicación presenta disminución, lo que sugiere que los resultados obtenidos con la primera secuencia efectivamente proporcionaron información suficiente para poder reforzar los niveles con bajo rendimiento, sin embargo esto fue a costa del uso de ecuaciones y manejo de herramientas matemáticas, las cuales siempre son necesarias para el estudio de la física, esto representa un problema para los profesores de bachillerato ya que se cuenta con un límite de tiempo para el desarrollo de contenidos cuyos aprendizajes pueden requerir de más tiempo para la asimilación de información por parte de los alumnos y por ello es necesario decidir sobre el tipo de aprendizajes que se desea trabajar con los grupos que se tienen a cargo.

Las gráficas de las figuras 1 y 2 representan a poblaciones particulares y a pesar de que los grupos a los que se aplicaron las estrategias tenían características distintas tanto de edad como de horario y espacio de trabajo se observaron errores y dificultades comunes, por lo que se pueden utilizar estos resultados para el diseño de secuencias que promuevan el desarrollo del pensamiento formal necesario para el estudio de la física.

La resolución de problemas de libros de texto es la forma de evaluar los aprendizajes en física en la mayor parte de los cursos tradicionales. De acuerdo con los resultados presentados y a pesar de la amplia literatura en el tema de

resolución de problemas [14], se sugiere que no sea el único tipo de problemas que se resuelvan en clase, ni mucho menos con los que se evalúen los aprendizajes de los alumnos, pues no permiten determinar el tipo de razonamiento utilizado por los estudiantes al enfrentarse a un problema y tampoco promueven el desarrollo de habilidades argumentativas. Se recomienda que al resolver problemas se fomente en los estudiantes el hábito de escribir procedimientos y de evaluar los resultados numéricos obtenidos.

V. CONCLUSIONES

La demanda cognitiva del nivel de aplicación no necesariamente es mayor que la del nivel de comprensión, los niveles de análisis y evaluación son los que tienen una menor cantidad de respuestas correctas, esto significa que son niveles que exigen conocimientos más desarrollados, los cuales requieren de tiempo y por lo tanto los estudiantes no alcanzaron la madurez mental que les permitiera formalizar su pensamiento en la física en el número de sesiones destinadas en cada secuencia o no han asimilado los conceptos y relaciones entre variables.

El tipo de evaluación realizada permitió detectar respuestas que hacen referencia a tipos de pensamiento concreto y formal, esto puede servir para tener un seguimiento de los estudiantes que requieren desarrollar el pensamiento abstracto requerido para la comprensión de la física.

Evaluaciones diseñadas por niveles de conocimiento permiten determinar el tipo de razonamientos y el nivel de éstos en la justificación de los procedimientos y resultados obtenidos en la resolución de problemas, lo cual puede ser útil en la planeación de estrategias posteriores para impulsar el desarrollo del pensamiento formal de los estudiantes.

La edad de los estudiantes de bachillerato de México no es factor para establecer que han transitado al estadio de las operaciones formales, al menos no en física ya que ésta requiere del manejo de diferentes tipos de representaciones, así como de habilidades matemáticas y argumentativas.

Resolver problemas de libros de texto promueve el desarrollo de habilidades matemáticas, el uso de prefijos y de unidades de medida por lo que pueden incluirse como actividades complementarias en la secuencia propuesta.

El tiempo destinado para el desarrollo de aprendizajes y de contenidos resulta insuficiente para que los alumnos asimilen la información, por ello es necesario diseñar planeaciones acordes a los niveles cognitivos de los estudiantes pero que no dejen de representar retos para fomentar el desarrollo del pensamiento formal.

El instrumento de evaluación elaborado favoreció a los alumnos ya que cada uno de ellos argumentó utilizando el tipo de representación con el que se sintieran más cómodos y se obtuvo una diversidad de respuestas.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Asuntos de Personal Académico (DGAPA) por el apoyo económico proporcionado mediante la beca PFPBU y a la Coordinación de Estudios de Posgrado (CEP) por dar continuidad de la misma.

REFERENCIAS

- [1] Knight, R., *Five Easy Lessons, Strategies for Successful Physics Teaching*, (Addison Wesley, USA, 2004).
- [2] Inhelder, B. y Piaget J., *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*, 1ª Ed. (Paidós, España, 1985).
- [3] Vygotski, L. S (1934–1993). Pensamiento y lenguaje en Vygotski, L. S. *Obras escogidas II*, Madrid: Aprendizaje. Visor. citado en Cano, A., Cognición en el adolescente según Piaget y Vygotski. *¿Dos caras de la misma moneda?*, *Boletim Academia Paulisata de Psicología* **27**, 148 - 166 (2007).
- [4] Shayer, M. y Adey, P., *La ciencia de enseñar ciencias. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*, (Narcea, Madrid, 1986).
- [5] Anderson, L. and Krathwohl, D. (Ed.), *A Taxonomy For Learning, Teaching, And Assessing: A Revision of Bloom's Educational Objectives*, (Longman, USA, 2001).
- [6] Eggen, P. y Kauchak, D., *Estrategias Docentes, Enseñanza de contenidos curriculares y desarrollo de habilidades de pensamiento*, 3a. Ed. (Fondo de Cultura Económica, México, 2009).
- [7] Hernández, G., *Miradas constructivistas en psicología de la educación*, (Paidós Educador, México, 2006).
- [8] Coletta, V., Phillips, J. and Steinert, J., *Why You Should Measure Your Students' Reasoning Ability*, *The Physics Teacher* **45**, 235 – 238 (2007).
- [9] Gadgil, S., Nokes-Malch, T. and Chi, M., *Effectiveness of holistic mental model confrontation in driving conceptual change*, *Learning and Instruction* **22**, 47 – 61 (2012).
- [10] Talbert R., <http://scholarworks.gvsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1183&context=colleagues>
Consultado el 22 de febrero de 2016.
- [11] Jiménez, P. y Gallastegui, J. *et al.*, *Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias*, 1a Ed. (Danú, Santiago de Compostela, 2009).
- [12] Eriksen, H., Kristiansen, J., Langangen, O. and Wehus, I., *Velocity dispersions in a cluster of stars: How fast could Usain Bolt have run?*, *American Journal of Physics* **77**, 234 – 228 (2008).
- [13] Gil, D., Martínez, J. y Senet, F., *El fracaso en la resolución de problemas de Física: Una investigación orientada por nuevos supuestos*, *Enseñanza de las Ciencias* **6**, 131 – 146 (1988).
- [14] Docktor, J. & Mestre, J., *Synthesis of discipline-based education research in physics*, *Physical Review Special Topics, Physics Education Research* **10**, 020119 (2014).