

## **Preconcepciones de cinemática y fuerza en estudiantes que inician sus estudios de ingeniería**

**Carlos Fuentes Vargas**

Colegio de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, México. Email: [carlos.fuentes.vargas@uacm.edu.mx](mailto:carlos.fuentes.vargas@uacm.edu.mx)

**Resumen:** En este trabajo se analizan los preconcepciones que repercuten en la apropiación de nuevos conceptos newtonianos en Física en estudiantes que inician las carreras de ingeniería en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM). Esto, se realiza como un esfuerzo por contribuir a clarificar el índice de aprobación en particular de las asignaturas de Física que apenas llega a 20%. Para el análisis, se aplicó el Inventario de Conceptos de Fuerza (FCI) (Hestenes, D. et al., 1992) a 238 estudiantes de nuevo ingreso en la UACM y a 169 estudiantes que cursan el último nivel en el Instituto de Educación Media Superior del Distrito Federal (IEMS) y cuya opción de Universidad es la UACM. Los resultados muestran que menos del 20% de los estudiantes logra discriminar los conceptos de posición, velocidad y aceleración. Resalta aun más que cerca del 80% de los estudiantes tienen confusión con el sistema de referencia. Estos resultados son importantes para la comprensión del bajo índice de avance toda vez que la planta docente focaliza el problema a la falta de habilidades matemáticas en los estudiantes.

**Palabras clave:** preconcepciones, cinemática, fuerza, estudiantes ingeniería.

**Title:** Preconceptions in kinematics and force in students starting their engineering degrees.

**Abstrac:** In this paper the preconceptions affecting the appropriation of new Newtonian concepts in physics students who are starting their Engineering majors at the Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) are analyzed. This is part of an effort to help clarify the passing grades of the mechanics subjects, which barely reaches 20%. For analysis, the Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes, D. et al., 1992) was administered to 238 new-entry students of the UACM and to 169 students who are in their senior year at the Instituto de Educación Media Superior (IEMS) and whose option for college is the UACM. The results show that the concepts of position, velocity and acceleration, less than 20% of students achieved discriminate. Emphasizes further that about 80% of students are confused with the reference system. These results are important for understanding the low rate of progress because the teachers focuses the problem of lack of math skills in students.

**Keywords:** preconceptions, cinematic, force, engineering students.

## **Introducción**

Con el objetivo de atender las necesidades educativas que prevalecen en la Ciudad de México, principalmente en la población menos favorecida, el Gobierno del Distrito Federal (GDF) creó hace poco más de una década el Instituto de Educación Media Superior (IEMS) y la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM). Ambas instituciones tienen en su proyecto educativo puntos en común, por ejemplo el mecanismo de ingreso; proceso que se lleva a cabo por sorteo y no considera el promedio del ciclo anterior ni la edad del estudiante (Universidad Autónoma de la Ciudad de México, 2007; Instituto de Educación Media Superior, 2006). Asimismo, una gran proporción de estudiantes que ingresan a la UACM son egresados del IEMS.

Sin embargo, este esfuerzo que realiza el GDF se ve empañado por los resultados en términos de eficiencia terminal en ambas instituciones. En particular, desde que se iniciaron las labores en la UACM sólo cuatro estudiantes han logrado obtener el título de Ingeniero. Este resultado es acompañado de una alta deserción y un alto porcentaje de reprobación de asignaturas propias de las Ingenierías. Específicamente en el plantel San Lorenzo Tezonco (SLT) de la UACM, de la población estudiantil que cursa su primera asignatura de Física, menos del 20% logra terminarla y acreditarla.

Estos inquietantes porcentajes advierten no pocas aristas para comprender sus causas y actuar en consecuencia. Por ello, es indispensable iniciar trabajos que permitan conocer a la población estudiantil de la UACM más allá de los índices de eficiencia. En este sentido, tomando uno de los muchos hilos conductores para abordar este problema, proponemos analizar los preconceptos en Física que poseen los estudiantes al inicio de sus estudios universitarios. Una cantidad considerable de publicaciones muestran que la presencia de estos preconceptos dificultan la apropiación de nuevos conceptos newtonianos (Hake, 2007; Hierrezuelo y Montero, 1989; Guidugli, 2004; McDermott, 1987). Así, el objetivo en este trabajo es incluir los resultados de la exploración de preconceptos en Física que permitan replantear las estrategias en el aula, además de proveer indicadores que ayuden a comprender las causas que influyen en el preocupante porcentaje de avance.

## **Fundamentación teórica**

La dificultad que presentan los estudiantes para incorporar nuevo conocimiento en los cursos de ciencias ha sido un importante tema de trabajo en las últimas cuatro décadas (Furió et al., 2006). En la literatura, se pueden encontrar diferentes términos para identificar estas dificultades, tales como ciencia de los alumnos, concepciones alternativas e ideas previas, por citar algunos. Sin embargo, en este trabajo los mencionaremos sin hacer énfasis en las diferencias con que se les asocian. En el espectro de estos estudios, podemos encontrar los que analizan la detección y exploración de los preconceptos, los que proponen estrategias para trabajarlos en el aula, así como los que tratan de explicar el nivel de estructuración de las mismas (Pintó et al., 1996; Oliva, 1999).

Como parte de los trabajos que se han realizado para detectar los preconceptos en Física en estudiantes de nivel medio superior y superior, el

trabajo publicado por Hestenes (1992) se enfoca a los concernientes en Cinemática y Fuerza. La propuesta es un cuestionario llamado Force Concepts Inventory (FCI) útil para identificar el balance entre las respuestas que obedecen a las concepciones alternativas y a las newtonianas. Aunado al FCI, se han publicado no pocos trabajos en la misma dirección (Beichner, 1994; Hestenes y Wells, 1992). Sin embargo, más allá de la discusión sobre si es el FCI es el mejor método, su uso extendido ha permitido no solo utilizarlo como indicador del impacto de estrategias de enseñanza-aprendizaje, sino además como herramienta para comparar el estado de conceptos newtonianos entre estudiantes de diferentes instituciones educativas (Corona, 2010; Martin et al., 2010; Hake, 1998; Covián y Celemín, 2008; Pérez de Landazábal, 2010). Una revisión de este cuestionario fue llevada a cabo por Halloun (1995) y de esta revisión, la versión en español que se utiliza en este trabajo es la realizada por Maci-Barber (1995) con permiso de los autores.

En la taxonomía que proponen los autores del FCI (Hestenes et al., 1992), los conceptos newtonianos los agrupan en seis categorías: Cinemática, Primera Ley de Newton, Segunda Ley de Newton, Tercera Ley de Newton, principio de superposición y tipos de fuerzas. Los preconceptos que se pueden analizar se identifican según las opciones de respuesta de cada pregunta. El FCI consta de treinta preguntas con cinco posibles respuestas para cada una de ellas. Con el objetivo de ilustrar el tipo de preguntas que incluye el FCI, a continuación se muestra como ejemplo la pregunta 19 con sus posibles respuestas. El ejemplo es tomado de la versión en español (Macia-Barber et al., 1995).

Pregunta 19. Las posiciones de dos bloques en intervalos de tiempo sucesivos de 0.20 segundos se hallan representadas por los cuadrados numerados de la Figura 1. Los bloques se mueven hacia la derecha.

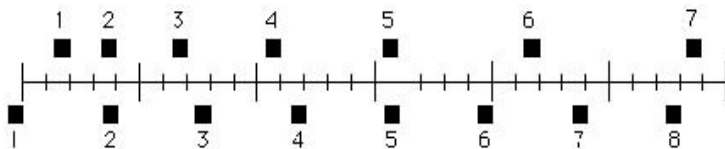


Figura 1.- Esquema correspondiente a la pregunta 19 del FCI.

¿Tienen los bloques en algún momento la misma velocidad?

Respuestas:

- (A) no
- (B) sí, en el instante 2
- (C) sí en el instante 5
- (D) sí, en los instantes 2 y 5
- (E) sí, en algún momento durante el intervalo de 3 a 4

### Contexto y metodología

En la UACM el Colegio de Ciencia y Tecnología (CCyT) oferta las carreras de ingeniería en el área de sistemas. Estas ingenierías tienen un mapa

curricular que consta de diez semestres, de los cuales, los primeros cuatro tiene la finalidad de proporcionar al estudiante una formación sólida en Física y Matemáticas. En particular, la asignatura de Mecánica I se imparte en el primer semestre de la carrera y comprende los contenidos tradicionales de cinemática, dinámica, conservación de la energía y momento lineal.

En el plantel SLT se aplicó el FCI a 238 estudiantes que iniciaban su curso de Mecánica I en los periodos 2010-II y 2011-I. En el caso del IEMS, el FCI se aplicó a 169 estudiantes que cursaban su último ciclo escolar 2010-II, de estos, 73 estaban inscritos en el plantel Coyoacán (COYO) y 96 en el plantel Tláhuac (TLAH).

Para este estudio, nuestro objetivo es solo analizar, en una primera aproximación, los conceptos que consideramos básicos. Esto es, que bajo una inercia docente, el curso de Mecánica I se inicia sin cuestionarse el cómo estos conceptos están incorporados en los estudiantes. No queremos decir que estos conceptos no se aborden en clase, sino que se abordan limitándose a descripciones matemáticas, como resultado de suponer que se revisaron conceptualmente en ciclos anteriores. En suma, los conceptos analizados aplicando el FCI son:

- a) Discriminación entre la posición y la velocidad
- b) Discriminación entre la aceleración y la velocidad
- c) Naturaleza vectorial de la velocidad
- d) Naturaleza vectorial de la fuerza
- e) Sistema de referencia

## Resultados

En la Tabla 1, se presentan los resultados de la aplicación del FCI que incluyen las respuestas del cuestionario en general, para los tres planteles. Los promedios de aciertos de respuestas de opción newtoniana pueden tomar valores entre 0, que significa ningún estudiante eligió alguna respuesta newtoniana y 30 que indica que todos los estudiantes eligieron todas las opciones newtonianas.

Plantel	Promedio de aciertos (Valor entre 0-30)	Desviación estándar
SLT	6.962	2.838
COYO	5.575	2.465
TLAH	6.302	2.276

Tabla 1.- Promedio de respuestas newtonianas del FCI por plantel.

Las Figuras 1 y 2 muestran los histogramas de respuesta newtoniana para los conceptos referentes a discriminar la posición de la velocidad, y la velocidad de la aceleración, respectivamente.

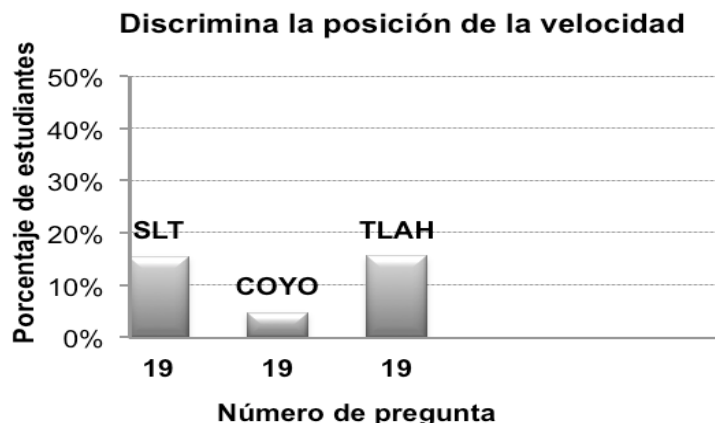


Figura 1.- Porcentaje de estudiantes que discriminaron entre la posición y la velocidad. El concepto está ligado a la pregunta 19 del FCI.

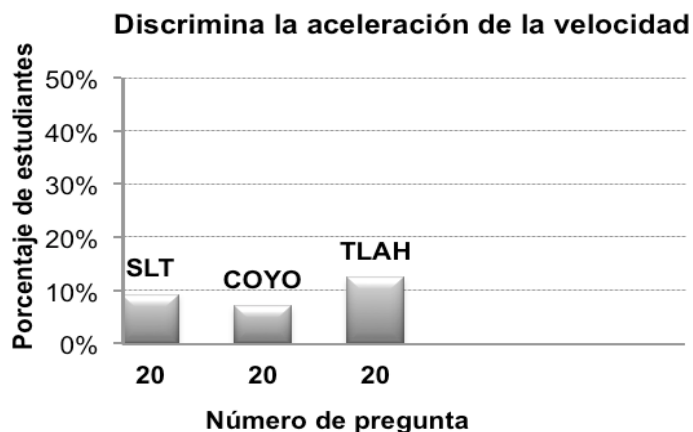


Figura 2.- Porcentaje de estudiantes que discriminaron entre la aceleración y la velocidad. El concepto está ligado a la pregunta 20 del FCI.

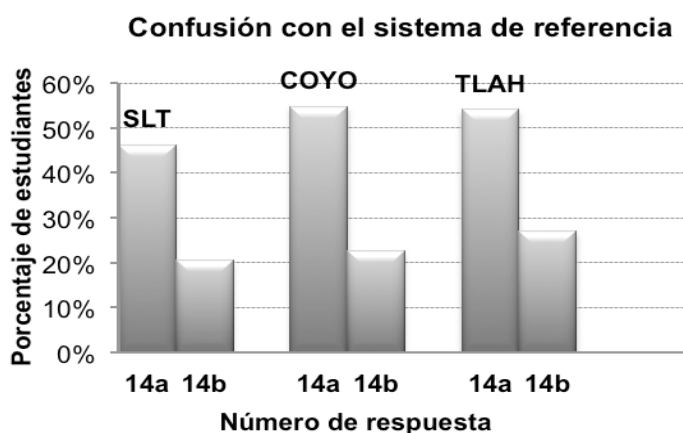


Figura 3. Porcentaje de estudiantes que presentaron confusión con el sistema de referencia. El preconcepto está ligado a las respuestas **a** y **b** de la pregunta 14 del FCI.

El histograma de la Figura 3 presenta el porcentaje de estudiantes que eligieron la respuesta newtoniana en el caso del sistema de referencia. Para

este concepto, la opción newtoniana está relacionada con las respuestas a y b de la pregunta 14 del FCI.

Los resultados de respuesta newtoniana para los conceptos relacionados con la suma de vectorial de velocidades y la suma vectorial de la fuerza se muestran en las Figuras 4 y 5, respectivamente.

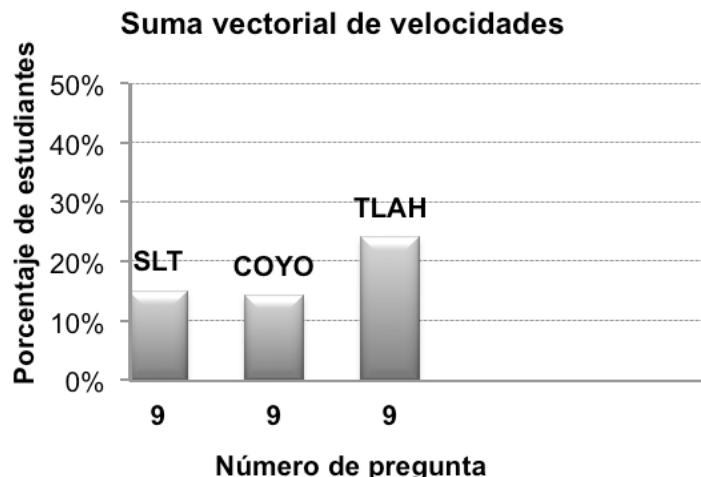


Figura 4.- Porcentaje de estudiantes que reconocieron la naturaleza vectorial de la velocidad. El concepto está ligado a la pregunta 9 del FCI.

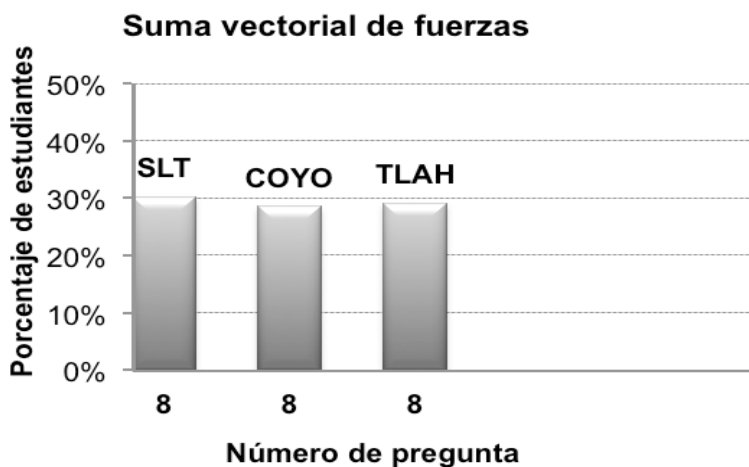


Figura 5.- Porcentaje de estudiantes que reconocieron la naturaleza vectorial de la fuerza. El concepto está ligado a la pregunta 8 del FCI.

### Discusión

Considerando que el FCI es un cuestionario de opción múltiple, con cinco posibles respuestas para cada pregunta, tenemos que en principio si se contestara al azar la probabilidad de cualquier respuesta es de 20%, esto significa, a grandes rasgos, que un estudiante obtendría 6 respuestas correctas si responde el cuestionario de esta manera. Esta observación es importante señalarla puesto que los promedios del número de aciertos para los diferentes planteles, están cercanos precisamente al valor obtenido al azar. Ver Tabla 1. Sin embargo, como se abordará más adelante, los

resultados para los diferentes conceptos muestran una clara tendencia sobre el tipo de respuesta que eligen los estudiantes.

La Figura 1 muestra las respuestas de opción newtoniana cuando se trata de discriminar la posición de la velocidad, conceptos relacionados con la pregunta 19 del FCI. Los porcentajes de estudiantes que discriminaron entre ambos conceptos para SLT, COYO y TLAH, son 15.5%, 4.7% y 15.6%, respectivamente. Estos porcentajes son incluso menores al valor del 20% correspondiente a una opción contestada al azar, lo que muestra una confusión generalizada entre los conceptos de posición y velocidad.

Esta confusión en los conceptos de posición y velocidad, implicaría entonces además una confusión en el concepto de aceleración, dada la relación natural entre los mismos. Así, en la Figura 2 podemos observar que el porcentaje de estudiantes que lograron discriminar la aceleración de la velocidad son 9.2%, 7.1% y 12.5% para SLT, COYO y TLAH, respectivamente. Al igual que en el caso de la posición y velocidad, estos resultados son menores que los esperados aleatoriamente.

La confusión mostrada por los estudiantes al tratar de discriminar por un lado, la posición de la velocidad y por otro, la aceleración de la velocidad, se determinó a partir de las preguntas 19 y 20. Estas preguntas se ilustran en el FCI con diagramas que muestran la ubicación de bloques en diferentes posiciones y tiempos (ver ejemplo de la pregunta 19). Así, el estudiante requiere, en primera instancia, tener claridad sobre el sistema de referencia en el que están dispuestas las ubicaciones de los bloques tanto espacial como temporalmente. En este sentido, con las respuestas de la pregunta 14 se puede explorar la presencia de preconceptos en el sistema de referencia.

El análisis sobre la confusión con el sistema de referencia está ligado a las respuestas a y b de la pregunta 14. Los resultados obtenidos muestran que el porcentaje de estudiantes que presentaron confusión con el sistema de referencia para SLT, COYO y TLAH, son 66.8%, 77.3% y 81.2%, respectivamente. Estos altos porcentajes evidencian que el ubicar en espacio y tiempo representa por sí mismo un obstáculo en la comprensión de los conceptos. Ver Figura 3.

Por otro lado, las Figuras 4 y 5 muestran el porcentaje de estudiantes que sí identificaron la naturaleza vectorial de la velocidad y de la fuerza, respectivamente. Podemos observar diferencias en el porcentaje de aciertos según el concepto. Así, para el plantel TLAH, se obtuvo el 24.12% para los que identificaron el concepto en el caso de la velocidad, y 29.16% para el caso de fuerza. Esta situación se presenta en los otros dos planteles con mayor énfasis, en estos casos se duplica el número de respuesta de opción newtoniana para la suma vectorial de fuerza, que lo obtenido para la velocidad.

El porcentaje de aciertos en la suma vectorial de la fuerza comparado con el de la velocidad, nos indica que la confusión que presentan los estudiantes en la suma vectorial está ligada a la variable física que se suma, en este caso, hay una mayor confusión cuando se trata de velocidades que para el caso de fuerzas. De hecho, la única pregunta referente al concepto de Fuerza es la que tiene mayor número de respuestas newtonianas que los demás conceptos explorados relativos a cinemática.

## **Conclusiones**

Es de llamar la atención que los resultados muestren que en lo que respecta a los conceptos de posición, velocidad y aceleración, menos del 20% de los estudiantes que inician sus estudios de ingeniería logran discriminarlos. No menos importante es el hecho de que cerca del 80% los estudiantes tienen confusión con el sistema de referencia. No es de extrañar que se presenten confusiones en estos conceptos puesto que existen diversos trabajos que evidencian esta problemática en diferentes países (p.e. Picquart y Guzman, 2009; Covián y Celemín, 2008). Lo que resalta, es el porcentaje de nuestra población estudiantil que lo presenta. Más aun, la naturaleza vectorial es más confusa cuando se trata de velocidad que cuando se trata de fuerza, lo que reitera la insistente confusión de los conceptos básicos de cinemática. Contrariamente, los profesores presuponemos que el estudiante tiene un dominio conceptual suficiente para iniciar los cursos de Física. Así, con esta falta de claridad los estudiantes llevan a cabo estos cursos centrados en la manipulación matemática de dichos conceptos.

La confusión generalizada de los conceptos básicos trabajados no son la única razón para explicar la pobre eficiencia terminal en las carreras de Ingeniería de la UACM. Sin embargo, si repercuten directamente en la apropiación de nuevos conceptos (Hake, 2007; Hierrezuelo y Montero, 1989; Guidugli, 2004; McDermott, 1987). El hecho de que menos del 20% de los estudiantes logren acreditar sus primeros cursos de Física puede entenderse en gran medida por estos resultados y no sólo a la falta de habilidades matemáticas que los profesores de Física atribuimos al sucinto porcentaje de avance de los estudiantes. Sin duda, este trabajo evidencia una pieza a este complejo mosaico con que nos enfrentamos.

## **Implicaciones**

Este trabajo aporta los primeros resultados para conocer a la población estudiantil de la UACM más allá de los índices de eficiencia. El hecho de saber que la confusión de conceptos está incluso desde la comprensión de los marcos de referencia debe ser tomado como indicadores que ayuden a la planeación de los cursos de Física. Seguir considerando que tienen estas bases y a partir de estos supuestos diseñar los cursos, difícilmente se logrará un cambio conceptual en los estudiantes y en consecuencia el avance de ellos en las carreras de Ingeniería seguirá exiguo.

Por otro lado, los profesores del IEMS, en particular del área de ciencias, tendrían que considerar estos resultados para ponderar entre la cantidad de temas que se abordan en clase y la profundidad de los mismos. Es decir, entre la apropiación del concepto y la manipulación algebraica de las variables físicas. En principio, los estudiantes que egresan del IEMS tienen una carga considerablemente mayor de cursos de Matemáticas que de Física. Sin embargo, a pesar de que ya en la Universidad los cursos están centrados en la manipulación matemática, la mayoría de ellos no logran acreditar los cursos de Física.



## Referencias bibliográficas

- Beichner, R. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62, 750-762.
- Corona, C. A. (2010). Opciones Newtonianas de estudiantes no Newtonianos, análisis de alumnos universitarios: FCI. *American Journal of Physics*, 4, 2, 422-428.
- Covián, R. E., y Celemín, M. M. (2008). Diez años de evaluación de la enseñanza- aprendizaje de la mecánica de Newton en escuelas de ingeniería españolas. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), 23-42.
- Furió, C., Solbes, J., y Carrascosa, J. (2006). Las ideas alternativas sobre conceptos científicos: tres décadas de investigación. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 48, 64-77.
- Guidugli, S., Fernández, G. C., y Benegas, J. (2004). Aprendizaje activo de la cinemática lineal y su representación gráfica en la escuela secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 463-47.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs. traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Hake, R. R. (2007). Six lessons from the physics education reform effort. *Latin American Journal of Physics Education*, 1(1), 24-31.
- Halloun, I., Hake, R., y Muscat, E.P. (1995). Force Concept Inventory. *American Journal of Physics*, 79(11), 1043-1005.
- Hestenes, D., y Wells, M. (1992). A Mechanics Baseline Test. *The Physics Teacher*, 30, 159-166.
- Hestenes, D., Wells, M., y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Hierrezuelo, J., y Montero, A. (1989). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la dialéctica de la Física y la Química*. Madrid: Laia.
- Instituto de Educación Media Superior (2006). *Fundamentación del Proyecto Educativo*. México, D. F.: IEMS.
- Macia-Barber, E., Hernández, M. V., y Menéndez, J. (1995). Cuestionario sobre el concepto de fuerza. Recuperado de <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>
- Martin, B. T., Seidel, L., y Serrano, F.A. (2010). Enhancing force concept inventory diagnostics to identify dominant misconceptions in first-year engineering physics. *European journal of Engineering Education*, 35(6), 597-606.
- McDermott, L., Rosenquist, M., y Van Zee, E. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), 503-513.
- Oliva, J. M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 93-107.

Pérez de Landazábal, M. D. C., Otero, J. C., Macías, A., Pandiella, S. B., Nappa, N., Godoy, P., y Grupo ACEM (2010). Estudio de las Dificultades a las que se enfrentan los Estudiantes de Ciencias e Ingenierías en los Cursos Introdutorios de Física en la Universidad. *Revista Electrónica Iberoamericana de Educación en Ciencias y Tecnología*, 2(1), 31-55.

Picquart, M., y Guzman, O. (2009). Análisis de errores conceptuales y concepciones alternativas de mecánica Newtoniana en alumnos del tronco general de ciencias básicas de la UAM-Iztapalapa. *Enseñanza de las Ciencias*, Núm. Extra VII, 914-945.

Pozo, J. I. (1999). Más allá del cambio conceptual: El aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 513-520.

Universidad Autónoma de la Ciudad de México (2007). *El Proyecto Educativo en la UACM. Documentos de Apoyo Académico*. México, D.F.: UACM.