

El aprendizaje de la física y las matemáticas en contexto

S. Flores-García¹, J. E. Chávez-Pierce, J. Luna-González, M. D. González-Quezada, M. V. González-Demoss y A. A. Hernández-Palacios

Resumen. La mayoría de los estudiantes de las áreas de física y matemáticas de nivel introductorio presentan dificultades para desarrollar los conocimientos básicos necesarios para emprender con éxito las carreras de ingeniería. Algunos de ellos tienen serias dificultades para adquirir y utilizar en su desarrollo intelectual todas las herramientas de carácter cognitivo en el proceso de formalización del conocimiento científico. Además, esto puede producir una pérdida actitudinal hacia las materias más avanzadas durante el avance en sus respectivas carreras. Es por esto que el grupo de investigación *Física y Matemáticas en Contexto* del Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez propone una estrategia didáctica fundamentada en la representación real del objeto de conocimiento en los ámbitos físico y matemático. Esta propuesta se apoya en la animación de las situaciones de aprendizaje diseñadas e implementadas en el salón de clase.

1. Introducción.

Durante los últimos 20 años, la mayoría de las investigaciones relacionadas con la enseñanza y el aprendizaje de la física y las matemáticas han encontrado serias dificultades de aprendizaje por parte de los alumnos. Estas observaciones muestran serias dificultades para desarrollar un entendimiento funcional de los conceptos básicos de la física introductoria. Además, estos resultados de investigaciones son la evidencia de una falta de entendimiento funcional de los núcleos conceptuales de matemáticas.

En el caso ideal, los estudiantes entienden de diversos tópicos relacionados con la física que los principios fundamentales físicos son ideas poderosas que tienen amplia aplicabilidad. En varias ocasiones, los estudiantes fallan al encontrar las conexiones entre las ideas que son presentadas. En lugar de ver a la física como un objeto de conocimiento cimentado en un conjunto de ideas fundamentales, ellos adquieren la impresión que la física es una colección de ecuaciones de contexto específico que deben ser memorizadas (Redish, 1998). Por ejemplo: Un entendimiento de la mecánica Newtoniana como un campo de conocimientos coherentes requiere un entendimiento de la suma de vectores (para encontrar la fuerza neta), resta de vectores (para encontrar una aceleración), y el reconocimiento que la segunda ley de Newton requiere estas dos cantidades independientemente determinables (Flores, 2006).

2. Teoría e hipótesis.

La mayoría de los estudiantes de los cursos introductorios de física (Mecánica clásica y Electricidad y magnetismo) no muestran el aprendizaje esperado de los conceptos básicos a través de una enseñanza de carácter tradicional. Parece ser, que estos estudiantes no desarrollan una versatilidad en la manera de representar los objetos físicos para su posible entendimiento significativo (Flores, op.cit). Algunos de ellos solo alcanzan, a lo más, representar estos conceptos físico-matemáticos de una manera analítica. Es decir, solo invocan las ecuaciones de la situación física por medio de las ideas que relacionan los correspondientes núcleos de conocimiento científico que se pretende aprender.

Se entiende por representación matemática aquella manera de manipular, observar y entender un objeto matemático (Gaspar de Alba, 2007). Las representaciones más utilizadas en las clases de matemáticas y física son la representación analítica y la representación verbal. Sin embargo, existen otras representaciones no menos importantes por medio de las cuales el alumno podría alcanzar un aprendizaje significativo de los conceptos físico-matemáticos. Estas representaciones son: 1) la representación numérica, por ejemplo tabla de valores, 2) la representación gráfica, por ejemplo una gráfica en dos dimensiones *posición-tiempo*, 3) la representación diagramática, por ejemplo, el uso de flechas para representar vectores, y 4) la representación real, en este caso el objeto de conocimiento tal y como se percibe en la naturaleza.

¹ Integrantes del grupo de investigación Física y Matemáticas en Contexto. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

La necesidad del manejo y el cambio versátil de una a otra representación del conocimiento científico-formal se fundamenta en la promoción de una representación que muestra al alumno la situación física (objeto de conocimiento) en un plano real. Esta aseveración puede conducirnos a una hipótesis que plantee el posible desarrollo de un conocimiento de carácter formal a través del uso continuo de la representación real en los salones de clases. Este impacto en el currículum estará cimentado en el diseño de situaciones didácticas donde el estudiante interactúe directamente con el objeto físico. Todo esto con el objetivo de desarrollar nuevas ideas que garanticen una madurez cognitiva de los núcleos conceptuales.

Según los resultados de una investigación conducida en un grupo de 35 alumnos de la materia Electricidad y Magnetismo para detectar el posible entendimiento del concepto de integral de línea en el contexto de la diferencia de potencial en sistemas de cargas puntuales conducida por González (2006), solo el 4% de ellos pudo institucionalizar este concepto. Parece ser, que a pesar de los esfuerzos de instructores-investigadores del área de matemáticas, el alumno necesita desarrollar el entendimiento funcional de los objetos físico-matemáticos. Sin embargo, este entendimiento funcional de estas áreas del conocimiento esta muy lejos de ser alcanzado.

La hipótesis relacionada con el hecho de que la versatilidad del conocimiento físico-matemático se enriquece con el uso de distintas representaciones de los objetos matemáticos, se puede sustentar en los resultados mostrados por Gaspar de Alba (op.cit.). Estos resultados muestran que un cambio de representación del concepto de parábola ayuda a algunos estudiantes de preparatoria a entender (sobre una base de conocimiento promedio) las características de las cónicas.

3. Método de investigación.

De acuerdo a investigadores en el área del aprendizaje de las matemáticas, el alumno requiere una instrucción que vaya mas allá de una simple propuesta de carácter tradicionalista. Entendiendo a la instrucción tradicional como aquella enseñanza que no promueve el uso de situaciones de problemas comunes para los libros de texto. Además, en este sentido Herrera (2006) asegura que una enseñanza tradicional se centra en el uso del pizarrón y de situaciones didácticas enfocada en los objetos físicos que se encuentran en el salón de clases.

De la misma manera, Luna (1997) condujo una investigación en un grupo de matemáticas con 30 alumnos de la escuela CBTIS

128. En esta investigación se exploraron los alcances actitudinales y cognitivos de este grupo de estudiantes al tratar de entender las propiedades de superficies cónicas. Los resultados mostraron un cambio sustancial en el aspecto actitudinal de la relación entre el sujeto y el objeto de conocimiento (en este caso las cónicas). La figura 1 muestra una antena parabólica utilizada como una superficie reflectora. La ubicación del foco de la parábola corresponde a la posición de la pequeña plataforma sostenida por un poste metálico. Los alumnos observan que al dejar caer una pelota hacia el paraboloide, esta rebota y su trayectoria pasa por el foco, independientemente del punto de contacto con la superficie. Esta estrategia didáctica establece una relación directa entre los estudiantes con el objeto de conocimiento, en este caso la parábola. Sin embargo, los resultados de esta tesis sugieren que el entendimiento del concepto de parábola no logra un alcance significativo en el plano cognitivo.



Figura 1 Paraboloide que promueve el aprendizaje de las propiedades de las cónicas

En relación al aprendizaje de la física, Aguirre y Ericsson (1984) entrevistaron a 20 estudiantes de décimo grado utilizando dos preguntas relacionadas con un bote en un lago (con el fin de investigar las ideas acerca de la posición relativa) y un bote en un río (para investigar las ideas acerca de *marcos de referencia* y *velocidades relativas*). Ellos desarrollaron una serie de *reglas de inferencia* que los estudiantes parecen utilizar para determinar posiciones y velocidades. Muchas de estas reglas de inferencia se refieren a un movimiento relativo. Relevante a esta investigación, ellos determinaron que unos pocos estudiantes creyeron que el resultado de dos desplazamientos subsecuentes de un objeto tenían una magnitud igual a la suma de los desplazamientos individuales aún cuando los dos desplazamientos son en distintas direcciones.

Knight (1995) exploró la habilidad de los estudiantes para: 1) reconocer y utilizar las componentes de un vector; 2) evaluar la magnitud y dirección de un vector; 3) sumar dos vectores gráficamente; y 4) sumar dos vectores utilizando

componentes. El *Vector Knowledge Test* se aplicó a 286 estudiantes inscritos en el primer cuarto de un curso introductorio de física basada en cálculo. Estos alumnos pertenecían al primer semestre de varias carreras de ingeniería. El nivel del académico es equivalente a los cursos ordinarios de física introductoria (mecánica clásica) que se imparten durante los primeros semestres en la mayoría de las universidades de México. El examen se administró antes de cualquier instrucción relacionada con el estudio de vectores. Solamente el 30% de los estudiantes pudieron escribir una breve definición de un vector, y solamente 43% de los estudiantes pudieron sumar dos vectores gráficamente. Cerca del 15% pudieron expresar un vector dado como una magnitud y un ángulo. Knight concluyó que los estudiantes que comienzan en física necesitan una instrucción explícita y práctica con el uso de vectores. La mayoría de los estudiantes no comienzan los cursos introductorios con el suficiente conocimiento de vectores para entender las bases principales de la mecánica Newtoniana (Flores et al., 2004).

Esperando un aprendizaje significativo de la física, el grupo de investigación denominado *Física y Matemáticas en contexto* de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez ha diseñado una serie de demostraciones para ser implementadas en el salón de clases. Esta propuesta educativa pretende que los conceptos físicos se observen y manipulen en el salón de clases. De igual forma, se debe entender que el laboratorio no es el único lugar donde el objeto de conocimiento físico puede ser entendido en el plano real. Además, este diseño didáctico sostiene que los objetos matemáticos podrían entenderse al momento del establecimiento de la demostración física, es decir, un contacto de relación directa entre el sujeto y el objeto de conocimiento físico puede enriquecerse por medio de la intervención de un agente matemático del mismo contexto.

La estrategia didáctica diseñada por el grupo de investigación de *Física y Matemáticas en contexto* se fundamenta en la posibilidad de un contacto directo del estudiante con el objeto de conocimiento en el plano real. Es decir, se apuesta al valor intrínseco de la interacción natural que el estudiante puede establecer con el conocimiento físico-matemático. Por otra parte, la mayoría de los estudiantes de las áreas de física y matemáticas de nivel introductorio presentan serias dificultades para desarrollar los conocimientos básicos necesarios para emprender con éxito las carreras de ingeniería. Algunos de ellos tienen serias dificultades para adquirir y utilizar en su desarrollo intelectual todas las herramientas de carácter cognitivo en el proceso de formalización del conocimiento científico. Además, esto puede

producir una pérdida actitudinal hacia las materias más avanzadas durante el avance de sus respectivas carreras. En base a lo anterior, este proyecto pretende desarrollar y diseñar estrategias de enseñanza y aprendizaje de los contenidos que se encuentran en los programas de las materias básicas de física y matemáticas del Instituto de Ingeniería y Tecnología de la UACJ. Estas estrategias podrán ser utilizadas a la vez en otras instituciones como UTEP, el CBTIS # 128 y la Universidad Estatal de Nuevo México a través de la transformación del micro-curriculum, una evaluación y monitoreo del aprendizaje significativo de núcleos conceptuales en contexto, así como la transferencia del aprendizaje conceptual de física y matemáticas hacia el contexto de la tecnología de software

Durante el proceso de aprendizaje esperado, los métodos de evaluación son importantes para el monitoreo del entendimiento conceptual del alumno. Algunas de los elementos de entendimiento funcional pueden ser utilizados como objetos de evaluación continua. Algunos de estos son:

- a) Prácticas de laboratorio de física y matemáticas.
- b) Implementación de software.
- c) Desarrollo de objetivos de aprendizaje soportados por tecnologías de información y comunicaciones (TIC).
- d) Manual de prácticas de física y matemáticas.
- e) Inventario de demostraciones de conceptos físicos.
- f) Implementación de demostraciones de proyectos de laboratorios en salones de clase.

Los resultados relacionados con la eficiencia en el proceso de aprendizaje durante esta investigación se obtendrán de dos instituciones: la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y el CBTIS # 128. Esto nos indica que el diseño curricular impactará la formación científica tanto de alumnos de nivel superior como de bachillerato.

El aprendizaje del conocimiento científico es una plataforma fundamental para lograr un avance en el desarrollo tecnológico. Nuestra ciudad, necesita una base de conocimiento científico que detone el crecimiento tecnológico en el cual se sustenta nuestra economía. Las instituciones de educación superior como la UACJ y UTEP, así como la institución de enseñanza preparatoria CBTIS # 128, requieren de un sistema de aprendizaje de las ciencias que genere en los estudiantes un entendimiento significativo de los conceptos fundamentales. Estos conceptos, son detonadores de ideas que generan y transforman el avance científico de cualquier persona. En base a esto, apostamos por una propuesta educativa que

fortalezca y formalice el conocimiento de sentido común, para llevarlo a un nivel científico, el cual refleje el avance tecnológico requerido por nuestra comunidad. De igual manera, para que el alumno adquiera un desarrollo científico-formal de sus conocimientos en la escuela, es necesario que lo haga mediante el desarrollo cognitivo del entorno que lo rodea. Es decir, que el conocimiento científico lo acompañe en cualquier ámbito de su vida, desde la escuela hasta su propia casa. Esto se logra con la implementación de una propuesta didáctica fundamentada en elementos contextuales que detonan el conocimiento formal en el alumno. Además, el desarrollo de los objetos matemáticos que representan conceptos físicos determina una evolución cognitiva de las estructuras matemáticas en los estudiantes durante el aprendizaje de los conceptos de física. Por ejemplo, la mayoría de los estudiantes tienen problemas de entendimiento con los conceptos fundamentales de física, principalmente con operaciones vectoriales (Flores, op.cit.)

4. Diseño de la estrategia.

La idea fundamental plantea que el alumno desarrolle conocimiento físico-matemático con fundamento en la interacción directa con el objeto de conocimiento. Como se cito anteriormente, esto se conseguirá mediante el diseño de demostraciones físicas.

La figura 2 muestra una fotografía de la situación física diseñada para que el estudiante interactúe directamente con el concepto físico de *Potencial eléctrico en materiales conductores*. Un material conductor es equipotencial. Debido a esto, su densidad superficial de carga depende de la curvatura. Con esta demostración, el alumno tendrá la oportunidad de observar y medir los cambios de la densidad de carga en la superficie del conductor. La figura 3 muestra las etapas del diseño de la demostración. Esta contiene, entre otras cosas, los distintos materiales y equipo que se deben utilizar. Bajo este formato, el instructor, durante el desarrollo de su clase, mostrará los elementos conceptuales para comprender las características de un material conductor.

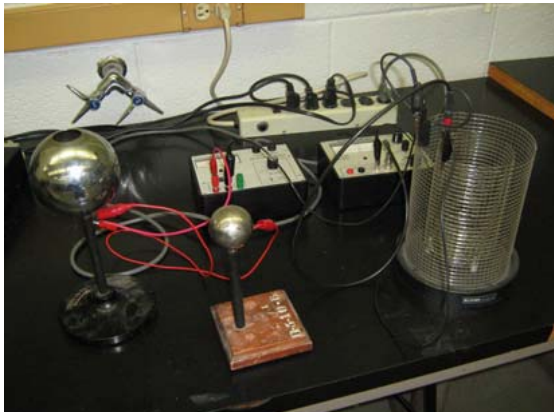


Figura 2 Demostración diseñada para entender las propiedades de un objeto conductor eléctrico

Figura 3. Esquema que muestra el diseño formal de una demostración para una clase de teoría electromagnética.

Charged conducting spheres

Demo # 2 Physics 2421


Material and equipment:
 1 Electrometer
 1 DC power supply
 2 Conducting spheres
 1 Proof plane
 1 Faraday ice pail

Purpose:
 Students will investigate the relationship between the voltage and the charge density of a conducting sphere.

Description:
 Two spheres of different diameters are charge the same potential difference. The surface charge densities of the spheres are tested by touching the surfaces of the spheres with a proof plane. The proof plane is introduced in the Faraday ice pail to sample the charge density of the spheres. The greater the area of the sphere, the smaller the charge on its surface.

In addition, we can use a conductor with non-uniform surface. The section with greater curvature has a greater surface charge density.

Photograph:



Student task:
 Students will calculate the surface charge densities of both spheres. They might use the equation: $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$. The charge density of the bigger sphere σ_1 should be less than the charge density of the smaller sphere σ_2 . The spheres are equipotential, thus:

$$V_1 = V_2 \quad \sigma_1 R_1 = \sigma_2 R_2$$

La estrategia no solo pretende que los estudiantes observen un fenómeno físico frente al grupo, sino también, que este concepto sea parte del currículum que el instructor utiliza para el desarrollo de su clase. Para esto, la elaboración de prácticas de laboratorio y el software adecuado serán fundamentales para el aprendizaje deseado. Es decir, se trabajara en tres niveles de diseño curricular: 1) un nivel exclusivamente demostrativo, 2) un nivel donde la situación física sea parte del micro-curriculum, y 3) un nivel a través del cual el alumno aprenda bajo el régimen de prácticas de laboratorio.

Esta pedagogía se sustentara en el uso de la tecnología por medio del diseño de *Objetos de aprendizaje*, los cuales según Wiley (2007) se definen como “cualquier recurso digital que puede ser reusado como soporte para el aprendizaje”. Esta definición permite una plataforma didáctica tanto para el aprendizaje de la física como de las matemáticas, puesto que, los *Objetos de aprendizaje* pueden ser construidos con una

plataforma de software que refleje el sesgo pedagógico requerido tanto por la física como por las matemáticas.

Cuando el alumno y el correspondiente instructor utilicen un *objeto de aprendizaje*, tendrán la oportunidad de interactuar con su objeto de conocimiento en niveles de visualización que van desde graficas de funciones matemáticas hasta situaciones físicas representadas con animación. La figura 4 muestra una sección que forma parte de un objeto de aprendizaje que tiene el objetivo de desarrollar en el alumno la noción precisamente del concepto de *Objeto de aprendizaje* (Chan y Pacheco, 2007). En este caso el alumno tiene la oportunidad de probar su conocimiento de la definición de objeto de aprendizaje escribiendo su conocimiento a nivel de su sentido común. Este proceso interactivo llevará al alumno a través de aciertos o errores hasta construir su propio conocimiento y formar en su mente la noción científica de este concepto.

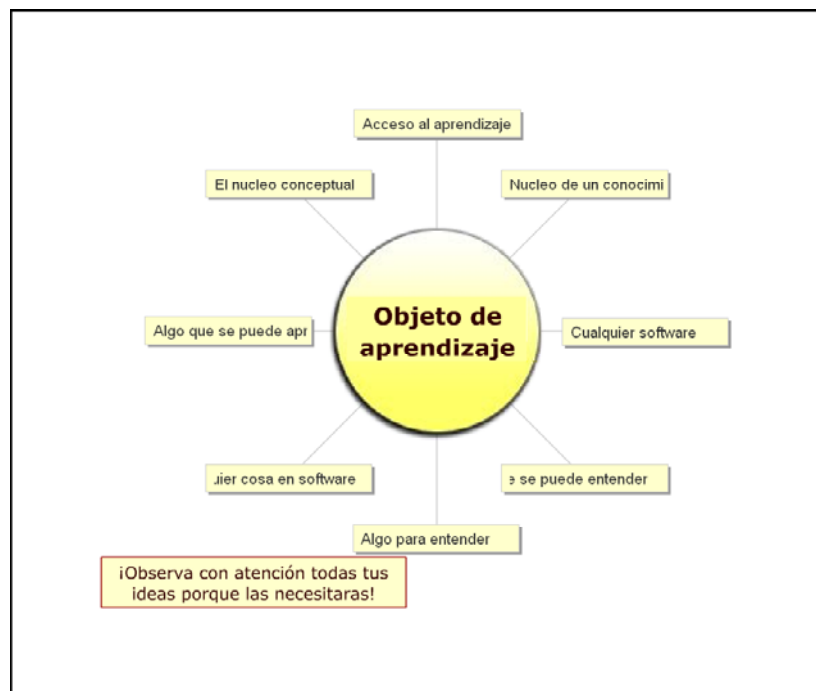


Figura 4 Parte gráfica de un Objeto de aprendizaje para promover el entendimiento del concepto de *Objeto de aprendizaje*.

5. Conclusiones (Resultados esperados de la investigación).

Los resultados esperados van desde el efecto positivo actitudinal que se genere en el alumno hasta el desarrollo cognitivo, el cual, según Flores (op.cit.) es el nivel de aprendizaje más difícil de lograr. En base a estos resultados, se espera que las nociones de los objetos físicos y matemáticos que se requieren comprender, se presenten de manera paulatina según lo indiquen las características del diseño. Por otra parte, se apuesta por un desarrollo en el grado de interacción del sujeto y el objeto de conocimiento en un plano de representación real y de representación gráfica, como lo son la situación física misma y la animación.

Finalmente, creemos que, a medida que el alumno manipule, vea o escuche las variables que definen los objetos físicos y matemáticos, el entendimiento y la generación de ideas fluyan con mayor versatilidad. De manera que, una vez terminado el diseño, daremos paso a la implementación de la estrategia seguida por la obtención de parámetros que nos ayuden a medir el grado de efectividad del cambio de estrategia de aprendizaje.

Referencias

Aguirre, J y G. Erickson. 1984. *Students' conceptions about the vector characteristics of three physics concepts*. J. of Res. in Sci. Educ. **21** (5), 439-457

Chan, M.A. y A. Pacheco. 2007. *Diplomado de objetos de aprendizaje*. Diplomado impartido a distancia, ofrecido por CUDI

Flores, S.. 2006. *Student understanding of vectors in mechanics*. Tesis para obtener el grado de doctor en física. Universidad Estatal de Nuevo México

Flores, S., S. Kanim y H. Kautz. 2004. *Students use of vectors in introductory mechanics*. Am. J. Phys. **72** (4), 460-468

Gaspar de Alba, A.G.F.. 2007. *Efectos y dificultades que produce en el alumno de tercer semestre de preparatoria el aprendizaje de las cónicas a través del uso de tecnología en el contexto geométrico, con una implementación fundamentada en diversas representaciones*”, tesis para obtener el grado de maestro en matemática educativa, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

González, M.D. 2006. *Uso de la integral de línea en el desarrollo conceptual de la diferencia de potencial en el contexto de la teoría electromagnética*. Tesis para obtener el grado de maestro en matemática educativa, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Herrera, A. 2006. *Problemas de aprendizaje del concepto de límite en el contexto de la cinemática en una dimensión*. Tesis para obtener el grado de maestro en matemática educativa, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Knight, R.D. 1995. *The vector knowledge of beginning physics students*. Phys. Teach. **33**, 74-78

Luna, J. 1997. *La geometría analítica a través de modelos físicos*. Tesis para obtener el grado de maestro en matemática educativa, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Redish, E.F., J.M. Saul y R.N. Steinberg. 1998. *Student expectations in introductory physics*. Am. J. Phys. **66** (3), 212-224

Wiley, D.A. 2007. *Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor and a taxonomy*. <http://www.reusability.org/read/>

