

FÍSICA PARA DISEÑADORES INDUSTRIALES: ¿QUÉ Y CÓMO APRENDEN CUANDO DISEÑAN?

Carola Hernández*

Resumen

Se ha venido realizando una innovación pedagógica consistente con el constructivismo en el curso de Física para Diseño Industrial. En el artículo se presenta el aprendizaje no tradicional de física expresado en desempeños de tipo disciplinar y de transferencia a la actuación concreta de los estudiantes. Se discute la diferencia entre estos dos tipos de desempeños y cómo parece que los estudiantes mantienen una brecha importante entre ellos a pesar de las acciones pedagógicas realizadas y cómo esto influye en sus niveles de aprendizaje. Finalmente se plantean nuevas acciones por desarrollar y algunas investigaciones que de ello se desprenden.

Palabras clave:

Física, diseño industrial, innovación pedagógica, aprendizaje.

Abstract

This project has the objective of develop a pedagogical innovation consistent with the constructivism during the course of Physics for Industrial Designers (Física General). This article presents the non traditional physics learning accomplishments (disciplinary activities and performance transfer) and how it looks like the students keep a gap between those two items despite the pedagogical actions taken and how this influences at their different learning levels. Finally it suggests new possible pedagogical actions and some new possible developable research.

Key words:

Physics, industrial design, pedagogic innovation, learning.

Introducción

Antecedentes y marco conceptual

Mis reflexiones acerca de mi labor como docente me han llevado a muchos cuestionamientos. Dentro de la comunidad académica en la que me desenvuelvo, un departamento universitario de física, la física es la vida

misma. Para los físicos, la física es la manera como observamos el mundo, como pensamos, como hablamos. Pero cada vez soy más consciente de que mi visión no es la que tiene la mayoría de la gente. Enseño física a personas que en su gran mayoría la utilizarán como una herramienta para sus propios intereses, que son distintos a los míos y a los de la comunidad de físicos en la que vivo. Particularmente, la población objeto de esta investigación son futuros diseñadores industriales. Muchos de ellos no gustan de la física ni de las matemáticas, pero saber aplicar conceptos físicos adecuadamente es muchas veces la diferencia entre diseños que sean funcionales o no. Así, propiciar cursos de física más cercanos a sus necesidades es un problema concreto que experimenta el Departamento de Física para el cual trabajo. A partir de mis estudios de pedagogía he llegado a concluir que algunas prácticas consistentes con una concepción constructivista del aprendizaje pueden ayudarme a generar cursos más flexibles y acordes con las necesidades e intereses de estos estudiantes, al permitirme crear ambientes más propicios para generar en ellos aprendizajes significativos (Ausubel, Hanesian y Novak, 1983). Y es que estas prácticas parten de un principio básico, que es el de entender el aprendizaje como un proceso que parte de lo que quien aprende ya sabe desde su experiencia y que puede continuar también a partir de nuevas experiencias (Piaget 1969; Perkins, 1997). Esto implica que todos ya tenemos algún conocimiento sobre lo que aprendemos y que ningún aprendizaje está terminado, de modo que es susceptible de ser modificado. El aprendizaje es significativo, según Ausubel, cuando los nuevos conocimientos a los que se enfrenta un individuo se vinculan de una manera clara y estable con los conocimientos previos que este individuo ya poseía (Ausubel, Hanesian y Novak, 1983). No importa, pues, que mis estudiantes no sean estudiantes de ciencias; ellos saben algo de física aunque sea elemental o errado, y si logro que usen esos conocimientos en el proceso de aprender nuevos, pueden llegar a ser cultos en los principios básicos de la física y aplicarlos según sus necesidades e intereses. Se trata de involucrarlos en un proceso que claramente los lleve a moverse de sus conocimientos actuales a otro nivel donde puedan manejar conceptos físicos universalmente aceptados, en su campo verdadero de acción, en este caso al diseñar objetos funcionales. Formalmente, el constructivismo se define como una epistemología, una teoría de la relación entre el hombre y el conocimiento, y de la forma como se desarrollan sus capacidades para entender (Piaget, 1969).

* Física, Magíster en Educación. Departamento de Física, Universidad de los Andes.

El constructivismo se ha manejado también como una teoría de cómo se aprende (Vygotsky, 1985; Savery y Duffy, 1996; Mestre, 2001). Piaget plantea que la capacidad de conocer se construye desde la infancia a partir de la experiencia en el mundo y a través de las representaciones mentales que el individuo va estableciendo para adaptarse a él (Piaget, 1969). Vygotsky (1985) modifica esta idea con la de la construcción de conocimiento como un proceso de aprendizaje que necesita la relación social y que implica la evaluación de la viabilidad de la comprensión individual (Vygotsky, 1985; Savery y Duffy, 1986).

A partir de la idea del aprendizaje social de Vygotsky, se entiende la importancia de aprender con otros, no sólo individualmente. Para Thomchick (1997) la mayor ventaja del aprendizaje en colaboración es la participación activa de quien aprende en su proceso de aprendizaje, así que el tamaño de los grupos debe ser tal que todos los estudiantes se vean forzados a participar en las discusiones concernientes a los temas del curso. Se plantea que el tamaño adecuado de los grupos es de cuatro a seis personas, porque todos los estudiantes deben ilustrarse acerca del tema y no dividir el trabajo (Webb, 1985). Para un aprendizaje en colaboración efectivo tienen que existir metas grupales e individuales, simultáneamente (Michaels, en Webb, 1985).

Por su parte Perkins (1997) ha equiparado el proceso de aprender algo paulatinamente con el de comprender algo paulatinamente, por medio del desempeño con lo que se aprende en contextos específicos. Define la comprensión como la capacidad de pensar y actuar flexiblemente con lo que se conoce, de modo que el desempeño debe ser flexible, utilizable en contextos diversos, para poder llamarlo verdadera comprensión. Para Perkins la forma de aprender, y a la vez la consecuencia más importante del aprendizaje, debe ser el uso de lo aprendido en contextos flexibles de acción (Perkins, 1997). Boix-Mansilla y Gardner (1997) añaden a esta concepción la de los desempeños auténticos, fácilmente reconocibles y modelables a partir del análisis de los desempeños reales provenientes de problemas y modos de pensar propios de las disciplinas. Creer en el constructivismo, pues, obliga a que los educadores se aparten de la visión de que se aprende por transmisión del conocimiento (Mestre, 2001). El estudiante no puede ser un recipiente pasivo de conocimiento, sino un participante activo en su construcción (McDermott, 1991), trabajando individualmente y con otros (Vygotsky, 1985) por medio del desempeño auténtico (Boix-Mansilla y Gardner, 1997) en contextos diferentes (Perkins, 1997). En un curso general de física, tradicionalmente se busca

que los estudiantes comprendan los principios básicos de esta ciencia y las relaciones que se establecen entre ellos y que puedan utilizarlos en sus propias áreas de conocimiento, en un proceso de transferencia, o sea de aplicación del conocimiento aprendido a nivel teórico, en los contextos diferentes pertinentes a sus áreas de conocimiento (Mestre, 2001). Pero la transferencia casi nunca se produce desde los cursos de física ni hacia ellos, dado que el aprendizaje formal de la física implica tradicionalmente sólo transferir conocimientos desde o hacia las matemáticas.

Uno de los principales problemas para lograr la transferencia es que los conocimientos previos pueden interferir en la transferencia a contextos nuevos (Mestre, 2001). Y teniendo conciencia de que la construcción de significado empieza en el individuo a partir de lo que ya sabe sobre aquello que está aprendiendo, encontrar sentido a lo que se aprende supone establecer relaciones entre estos dos aspectos, lo conocido y lo nuevo (Driver, citado en Nieda y Macedo, 1997), relaciones que los ambientes de aprendizaje deben facilitar. Whitelegg y Parry (1999) concluyen, a partir de una experiencia de aula realizada en 1992, en un curso de física para estudiantes de nivel secundario, en Victoria, Australia, que en general la física se ve descontextualizada, fuera de la realidad, porque tradicionalmente se enseñan principios 'básicos' y luego se hacen aplicaciones, de modo que no se genera transferencia. Proponen que, si se utilizan contextos reales para enseñar física, se incrementa la comprensión y la discusión social de los temas científicos. Asimismo se rompe el orden típico de los temas y algunos de ellos vuelven a aparecer, en circunstancias diferentes, en forma natural. Así, se genera en realidad la transferencia porque se requiere aplicar flexiblemente el conocimiento que se posee para entender otra situación bajo el mismo principio estudiado inicialmente.

Según esto, un curso de física para un diseñador industrial debería llevarlo a ver la física como un conocimiento que, en su actuación profesional, le brindará la posibilidad de generar objetos que funcionen con efectividad. Existen miles de objetos cotidianos que involucran principios físicos en el desarrollo tecnológico que dio lugar a su existencia.

Una innovación pedagógica

Con base en estos principios constructivistas diseñé una forma nueva de enseñar el curso introductorio de física a los alumnos de diseño industrial de mi universidad. Consiste en basar el aprendizaje de la física en el desarrollo de proyectos

de diseño. El uso de proyectos es una forma creativa de manejar, ir comprendiendo y evaluar conocimientos en física, porque todo proyecto requiere investigación, creatividad, una presentación rigurosa de la información de manera oral y escrita y un buen manejo bibliográfico (Mackin, 1996). Además, la observación del actuar cotidiano de los diseñadores indica que su forma de trabajo en la vida profesional son los proyectos. Alrededor de ellos también están estructurados varios de los cursos de su carrera. Cada proyecto del curso de física que diseñé involucra el manejo de uno o varios conceptos físicos fundamentales, a la vez que ayuda a los estudiantes a crear sus propios diseños, valorando -como en su labor profesional- el componente artístico de la presentación. Trabajé conceptos como fuerzas, torques, leyes de conservación de la energía y momento lineal en contextos de aplicación distintos, de forma que aparecieran siempre en los nuevos proyectos de diseño de objetos. Además, busqué que aplicaran otras habilidades propias de la física como la ubicación de variables físicas importantes para el correcto funcionamiento del objeto, la medición, la estimación y el cálculo de dimensiones, la búsqueda de las propiedades adecuadas en materiales, la calibración del objeto para que satisficiera restricciones pertinentes y el análisis gráfico desde conceptos físicos.

Los proyectos básicos se desarrollan en grupo. Un ejemplo fue el diseño de aviones que pudieran planear cierta distancia. Para apoyar el desarrollo de las entregas grupales, organicé el aprendizaje en grupo en dos sesiones: en la primera entregué a cada uno una hoja con las condiciones del nuevo proyecto y les solicité que hicieran una lluvia de ideas sobre cómo desarrollar el proyecto, que organizaran las ideas en temas de investigación y que se asignaran tareas específicas para avanzar en el diseño. En la segunda sesión, cada persona del grupo debía presentar la profundización que hubiera realizado en su tarea. A la luz de esta nueva información, el grupo debía discutir y replantear el proyecto. En varias ocasiones estas segundas sesiones contaron con la presencia de otros profesores para discutir y complementar las ideas de los estudiantes.

Además para cada clase asigné una lectura específica del texto del curso (Hetch, 2000). Recalqué la importancia de la lectura previa a la clase. En la clase sólo era posible utilizar los apuntes tomados por los estudiantes a partir de las lecturas, y periódicamente realicé controles de lectura. Con esto busqué propiciar una serie de conocimientos previos más fundamentados, que ayudaran a desarrollar en la clase pequeños desempeños como análisis de situaciones cotidianas, estudio de objetos comunes a través del trabajo

en grupos de discusión, discusiones generales de la clase en donde el profesor participó principalmente ordenando y jerarquizando conceptos en mapas conceptuales, uso y aplicación del lenguaje gráfico y discusión de errores conceptuales comunes y cómo superarlos.

Exigí, además, el desarrollo de un proyecto individual a lo largo del semestre, cuyo objetivo fue usar conceptos de la física para analizar críticamente un diseño realizado por otros. Se inició, buscando un artículo de alguna revista de diseño o una tesis de diseño industrial que involucrara alguno de los temas del curso de física, para pasar a su estudio desde los elementos conceptuales que aportaba el curso. El proyecto evolucionó, realizando entregas sucesivas, en las cuales los estudiantes profundizaron en la construcción de significados de los conceptos físicos, en la aplicación de estos conceptos, en el análisis del uso de materiales a la luz de las necesidades del objeto estudiado y en el análisis gráfico desde los conceptos físicos. A partir de este estudio, cada estudiante generó propuestas de modificación para mejorar el diseño analizado.

Una evaluación basada en exámenes tradicionales sería incompatible e incongruente con la concepción de aprendizaje concretada en los proyectos. Más bien organicé la evaluación alrededor de trabajos relacionados con cada proyecto. Aunque se realizaron sustentaciones orales de los proyectos grupales, todos ellos fueron evaluados por medio de documentos escritos desarrollados por los grupos de estudiantes. Procuré que estos documentos incluyeran una reflexión escrita sistemática sobre lo aprendido para intensificar la comprensión a través de la confrontación de la experiencia nueva con otras previas, que revela coherencia o incoherencia en el conocimiento personal (Knoblauch y Brannon, 1983; Schön, 1987; Woodward, 1998).

Para cada uno de los proyectos del curso diseñé una matriz de criterios de evaluación que diera a los estudiantes retroalimentación informativa sobre el progreso de sus tareas y evaluaciones detalladas de sus trabajos (Goodrich, 1999). La matriz consigna los tipos de aprendizaje que yo esperaba que se presentaran y los niveles de calidad para cada uno de esos aprendizajes, traducidos a un valor cuantitativo correspondiente. Entregué a los estudiantes copias de las matrices de criterios de evaluación antes de que desarrollaran los proyectos, para brindarles claridad sobre lo que se esperaba de ellos, de modo que desde el principio del curso la evaluación ayudara al aprendizaje. Las siguientes son las categorías de aprendizaje que incluí en estas matrices:

- *Definición de conceptos*: al iniciar el proceso de diseño es importante determinar qué necesito saber para que mi

proyecto se lleve a cabo de la mejor forma posible. Por ello es importante determinar qué conceptos físicos son pertinentes en el análisis y diseño del objeto planteado, buscar sus definiciones en diferentes fuentes y citarlas, estableciendo relaciones matemáticas y verbales entre estos conceptos.

- *Manejo conceptual*: luego de identificar y definir algunos conceptos, necesito aplicarlos en el análisis concreto de la situación planteada o del objeto que diseño. Esto implica el uso de principios físicos para explicar situaciones cotidianas, superando las concepciones no científicas o el manejo, dentro de la cotidianidad profesional, de ciertos principios no cuestionados pero tampoco entendidos desde la física.

- *Consideraciones sobre materiales*: como los objetos son reales, la determinación de las propiedades físicas que se hacen necesarias en los materiales empleados en la generación del objeto es vital para la realización del proyecto. Determinar los materiales adecuados requiere un análisis de sus propiedades, su mejor uso, economía y eficiencia.

- *Calibración*: la realización de objetos implica que satisfagan ciertas condiciones, por lo cual es necesario llevar a cabo procesos de calibración y mejoras a los objetos en el proceso de desarrollarlos. Por ello, es importante realizar pruebas previas suficientes para garantizar que el objeto satisface las restricciones requeridas según las instrucciones de diseño, y llevar un registro claro de este proceso que permita identificar el avance del diseño y la aplicación de la física en su transcurso. En muchos casos este criterio implica el uso del lenguaje matemático para realizar cálculos previos pertinentes que ayuden en el diseño del objeto.

- *Análisis gráfico del problema*: parte del aprendizaje de la física es el manejo formal de uno de sus lenguajes propios, que es la representación gráfica. Los diseñadores emplean algunos modos de representación gráfica en su aprendizaje y desempeño cotidiano; por ello, una forma de observar qué tanto aplican los conceptos que definen en palabras y ecuaciones es utilizar el lenguaje gráfico de la física. Para esto deben utilizar una representación gráfica adecuada que involucre los conceptos físicos correctos para abordar el problema concreto del objeto que están diseñando.

- *Reflexión sobre el proceso*: dada la importancia que tiene en el aprendizaje recapacitar sobre lo que han hecho, los aciertos y errores y cómo superarlos, esta reflexión busca que los estudiantes expresen claramente las dificultades que encontraron a lo largo del desarrollo de su proyecto, cómo las superaron y cómo ha mejorado su conocimiento de la física en este proceso.

- *Objeto presentado*: el producto final de las entregas grupales es un objeto que debe satisfacer todas las restricciones establecidas en las instrucciones, funcionar y

ser estéticamente aceptable; deben considerar que éstas serán necesidades reales en su vida profesional.

- *Aporte al proyecto*: en el proyecto individual, en el cual se busca una mejora desde la física del objeto estudiando, el producto final es el aporte que hace el estudiante a partir del estudio realizado. Este aporte debería ser ingenioso, basado en un estudio físico profundo y productor de mejoras reales al proyecto analizado.

No todos los criterios son aplicables a todos los tipos de actividad desarrollada por los estudiantes. Así para el proyecto individual (PI) las categorías empleadas en la matriz fueron definición de conceptos, manejo conceptual, consideraciones sobre materiales, análisis gráfico del problema, reflexión sobre el proceso y aporte al proyecto.

Para los proyectos grupales (PG) se emplearon dos tipos de evaluación, una oral y otra escrita. Para las presentaciones orales (PGO) los criterios empleados fueron manejo conceptual, reflexión sobre el proceso, calibración y objeto presentado. En los trabajos escritos (PGE) se emplearon las categorías definición de conceptos, manejo conceptual, consideraciones sobre materiales, calibración, análisis gráfico del problema y reflexión sobre el proceso.

Mi curso trabajó, además, en forma permanente el rigor en la presentación de información y el desarrollo de lenguaje científico, en actividades como leer artículos científicos (incluyendo un libro de texto) y escribir los informes de los proyectos. Estos desempeños comprometen un uso del lenguaje particular a las disciplinas científicas. El discurso extendido propio de los informes científicos es una producción que debe ser planeada para lograr que se hagan claras muchas conexiones entre ideas (Snow y Kurland, 2001). En muchos casos los docentes no ofrecemos oportunidades de practicar explícitamente este uso del lenguaje o no le damos la importancia esperada durante el desarrollo de la clase, pero sí en la evaluación. Por ello los estudiantes de mi curso realizaron presentaciones de los proyectos, tanto orales como escritas, que evidenciaron diferentes niveles de desempeño incluyendo la planeación rigurosa y la presentación detallada de información.

Preguntas de investigación

Antes de iniciar esta investigación puse en práctica la innovación durante un semestre académico, y observé informalmente algunos cambios interesantes con relación a semestres anteriores en los que había dictado el mismo curso: un alto nivel de participación por parte de los estudiantes, motivación y profundización mayor en algunos

temas. Durante el segundo semestre de puesta en práctica de la innovación, recolecté datos cuantitativos y cualitativos para responder a las siguientes preguntas:

- ¿Contribuye la innovación realizada (trabajo en colaboración, aprendizaje alrededor de proyectos, reflexión permanente y proceso de escritura) al aprendizaje de conceptos físicos en el curso de física para diseñadores industriales?
- ¿Qué otros aprendizajes relacionados con la física promueve la innovación realizada en el curso de física para diseñadores industriales?

Metodología

Participantes en la investigación

La investigación se llevó a cabo en el curso de Física General I, ofrecido el primer semestre de 2003, que corresponde al primer curso de física obligatorio para los estudiantes de primer semestre de Diseño Industrial de la Universidad de los Andes. No fue necesaria una autorización diferente a la de la dirección del Departamento de Física para aplicar la innovación en el curso y para llevar a cabo la investigación. Sin embargo, por razones éticas anuncié a los estudiantes que tomaron el curso, que esta investigación se estaba llevando a cabo. El grupo constó de 60 estudiantes que formaron libremente tríos de trabajo fijos durante todo el semestre. El curso es exclusivo para alumnos de primer semestre de la carrera de Diseño Industrial, de modo que puede suponerse que la mayoría proviene de colegios del mismo calendario y tiene conocimientos previos similares en el campo de la física.

Recolección de datos

Para llevar a cabo la investigación recolecté datos cuantitativos y cualitativos. En el caso de recolección de datos cuantitativos utilicé el grupo completo, pero para la recolección de datos cualitativos, escogí al azar 12 estudiantes que seguí a lo largo del curso. Para contestar la primera pregunta sobre el aprendizaje de conceptos físicos, usé datos cuantitativos recolectados a partir de:

- a. Una prueba tradicional de física que se aplicó a todo el grupo presente en la segunda clase y, de nuevo, en la

última. Incluyó 22 preguntas sobre los temas del curso en la forma de un examen final tradicional.

- b. La categoría de “definición de conceptos” en las matrices de criterios de evaluación para los de los PGE y PI.

Contesté la segunda pregunta sobre otros aprendizajes de física con base en los datos cuantitativos y cualitativos obtenidos de:

- a. Las mismas matrices de criterios de evaluación de productos en las categorías distintas a “definición de conceptos”.
- b. Entrevistas semiestructuradas tomadas a la muestra de 12 estudiantes al final del curso. Estas entrevistas indagaron por el grado de satisfacción en el curso y por sus percepciones sobre su aprendizaje, en relación con las formas de trabajo del curso (proyectos, trabajo de clase, trabajo en grupos e individual) y la evaluación (matrices de criterios de evaluación).

Análisis de datos

Los **conceptos físicos** a los que me refiero en la primera pregunta son términos como velocidad, aceleración, fuerza y torque, que también corresponden a los contenidos típicos de los cursos de física. Muchos físicos consideran que el aprendizaje de la física implica una aproximación al funcionamiento del mundo por medio de un método de indagación consistente con el científico, que ayuda a solucionar problemas aplicando conceptos fundamentales. Sin embargo en la práctica la forma usual de desarrollar clases de física no permite esta aproximación científica, sino que se queda en las definiciones de conceptos y el uso de una serie de fórmulas que no explican el mundo por ellas mismas. El aprendizaje de física se ha medido tradicionalmente a partir de la exactitud de esas definiciones y de la aplicación de conceptos, plasmada en el uso de fórmulas para la solución de problemas del tipo que aparece en los libros de texto. El análisis de los datos de esta investigación buscó presentar evidencia tanto de este tipo de aprendizaje tradicional (definición y aplicación de fórmulas), en la prueba tradicional, como del no tradicional (transferencia real a la solución de problemas en el diseño de objetos). Este último se infiere de la manera como la innovación pedagógica ofreció espacios y tiempo para que los estudiantes se aproximaran a los conocimientos físicos por medio de un método de indagación más consistente con el científico.

Para contestar la primera pregunta comparé los promedios de la prueba tradicional presentada al iniciar el curso y de la presentada al concluirlo. En las matrices de criterios de evaluación para los PG escogí los valores correspondientes a tres de los cinco proyectos: el inicial, uno intermedio correspondiente al tercer proyecto y que coincide con el punto medio del semestre y el último. En el PI comparé las tres entregas realizadas, que temporalmente coinciden con las presentaciones de PG escogidas. Pese a que los productos son objetos diferentes, las características del aprendizaje que exigían eran las mismas, de manera que esperaba mejoras en iguales aspectos. Realicé la comparación de los datos cuantitativos por medio de pruebas *t*, para determinar diferencias estadísticamente significativas entre promedios de los puntajes obtenidos por los estudiantes. El valor de probabilidad (*p*), que anexo al final de cada tabla, representa el margen de error de las pruebas a nivel estadístico; el grado de confiabilidad de los datos corresponde al complemento porcentual de la probabilidad anexada $((1-p) \cdot 100)$. He registrado valores de la prueba *t*, asumiendo el estándar empleado en estadística para grados de confianza de 90% ($p=0,1$), 95% ($p=0,05$) o 99% ($p=0,01$).

Para complementar el análisis cuantitativo, describí el nivel logrado por los estudiantes, ya que las matrices de criterios de evaluación hacen corresponder los valores cuantitativos a niveles cualitativos de desempeño en el aprendizaje de la física.

Para analizar las entrevistas y dar respuesta a la segunda pregunta, asumí como categorías los ítems cualitativos restantes de las matrices de criterios de evaluación y las usé para organizar los datos de las conversaciones con los estudiantes. Busqué en estas conversaciones, además, información que extendiera, complementara o pusiera en duda la información sobre aprendizaje de los alumnos, que arrojaron las

estadísticas sobre los correspondientes valores cualitativos.

Resultados

El análisis estadístico de las pruebas de conceptos de física presentadas por los estudiantes al comienzo y al final del curso muestran que mejoran en este aprendizaje típicamente tradicional de la física, a pesar de las características no tradicionales del curso. El análisis de las entrevistas y su comparación con los resultados estadísticos obtenidos de las matrices de criterios de evaluación muestran, además, que los estudiantes aprenden física de una forma no tradicional. Terminan percibiendo el curso como orientado hacia desempeños más acordes con su carrera y expresan que este cambio los afecta positivamente y los lleva a obtener algunos aprendizajes que consideran más útiles para su formación que los tradicionales.

Aprendizaje de conceptos físicos

En respuesta a la primera pregunta de investigación, la Tabla 1 muestra los promedios de los resultados obtenidos por los alumnos en la aplicación inicial y final del test tradicional, y los resultados de la prueba estadística *t de Student*.

La tabla muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el desempeño en el test inicial y el final, con resultados más altos en el final. Sin embargo, el promedio de los resultados del curso es tal, que muy pocos estudiantes aprueban finalmente este tipo de examen. Los rangos del examen varían entre las dos pruebas, aunque no se modifica el nivel inferior. Desde luego, la desviación estándar es mayor en la prueba final, lo que indica que las diferencias individuales en el aprendizaje de los estudiantes aumentan.

Tabla 1
Estadísticas descriptivas y pruebas *t* para el test de física tradicional.

	No. de Estudiantes	Promedio sobre 5 puntos	Rango	Desviación estándar	Prueba <i>t</i>
Ingreso	60	1,75	1,14-2,95	0,44	
Salida	50	2,20	1,14-3,41	0,64	2,31**

* $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos a partir de las matrices de evaluación para los proyectos escritos grupales y el proyecto individual, en el punto de definición de conceptos. El puntaje inicial promedio de los estudiantes es ya bastante más alto que aquél con el que comenzaron el curso, según la prueba tradicional (3,07 y 2,93 contra 1,75). Además la tabla muestra variaciones significativas que indican avance en los resultados provenientes de esta forma tradicional de aprendizaje en los tres momentos analizados. El avance más importante parece generarse entre el inicio del curso y su punto medio.

Los criterios cualitativos correspondientes de la matriz muestran que, en general, los estudiantes pasan de un

manejo conceptual pobre, que no los ayuda a identificar o definir los conceptos requeridos ni establecer relaciones entre ellos y que corresponde cuantitativamente a valores medios de 3,07 y 2,93, a uno bastante mejor, que les permite emplear algunos de los conceptos necesarios y definirlos correctamente, y que corresponde cuantitativamente a un valor medio de 3,83 y 3,80 al finalizar el curso. También se observa que la mayoría de los estudiantes obtienen 2,5 como nota de desempeño inicial, mientras en las entregas siguientes, la moda es 4,0. Esto corrobora la interpretación de los promedios. Finalmente, la disminución en la desviación estándar implica menores diferencias entre los aprendizajes individuales por parte de los estudiantes al final del curso.

Tabla 2
Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Definición de Conceptos en las matrices de criterios de evaluación de las entregas escritas grupales e individuales de los estudiantes.

Tipo de proyecto	Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas <i>t Student</i>		
		Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Grupal escrito	Inicial	3,07	0,82	2,0-4,5	2,5	////	6,33***	4,88***
	Media	4,00	0,75	2,5-5,0	4,5	6,33***	////	1,13*
	Final	3,83	0,65	2,0-5,0	4,0	4,88***	1,13*	////
Individual escrito	Inicial	2,93	1,06	2,0-4,5	2,5	////	4,13***	5,45***
	Media	3,61	0,75	2,0-4,5	4,0	4,13***	////	1,53
	Final	3,80	0,70	2,0-4,5	4,0	5,45***	1,53	////

* $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Otros aprendizajes en física

Manejo de conceptos aplicados al diseño

El primer tipo de aprendizaje no tradicional que observé está representado en el criterio “manejo conceptual” de los PI y PG tanto orales como escritos. Implica el uso de principios físicos para explicar situaciones cotidianas. Aquí el estudiante debía superar las definiciones de los conceptos y seguir cadenas de razonamientos que lo llevaran a entender la importancia de esos conceptos en el diseño de objetos. Por ejemplo, en el ejercicio de diseño de un avión que planea se requiere que las alas brinden la suficiente fuerza de sustentación para que el avión no caiga libremente debido a su peso. Pero estas dos fuerzas (el peso y la sustentación) deben ejercerse sobre una misma línea para que no ocurran torques y el sistema no

rote; es decir, para que el avión no dé tumbos y avance horizontalmente. En el diseño estas consideraciones llevan a localizar el centro de masa del avión en la línea imaginaria que pasa por el centro de las alas. Estas cadenas de causas y consecuencias se califican en el criterio “manejo conceptual”. Realizarlas supera el criterio de “definición de conceptos”, que indica solamente la existencia de la definición teórica de sustentación, peso, fuerza, torque y centro de masa.

La Tabla 3 (ver siguiente página) muestra los resultados numéricos correspondientes a este criterio. Las diferencias son estadísticamente significativas entre las entregas iniciales y finales en los tres casos. En la sustentación oral no se observan variaciones importantes en el promedio ni en la moda, pero la desviación estándar sí disminuye, lo cual indica que el aprendizaje del grupo es cada vez más

homogéneo. Los estudiantes terminan, pues, explicando verbalmente cómo funciona el objeto a partir de la aplicación de conceptos físicos en su diseño. Para el informe escrito se presentan variaciones muy importantes en la media y la moda. Los estudiantes inician el curso con un promedio de 3,25 y una moda de 2,5, que indican que explican el funcionamiento del objeto de manera básica a partir de los principios físicos involucrados, y muchas veces no los tuvieron presentes para diseñar. Para el final del curso el promedio obtenido es 4,23 con moda de 4,5, lo que muestra que los estudiantes explican el funcionamiento del objeto a partir de los conceptos físicos involucrados y que emplearon el conocimiento teórico de estos conceptos para diseñar o proponer mejoras a diseños conocidos. De manera similar, en la entrega individual los estudiantes presentan avances

progresivos en la explicación del funcionamiento de su objeto a partir de aplicar conceptos físicos. El promedio varía de 3,21 a 3,67 y finalmente a 4,15, dentro de los mismos rangos descritos para el trabajo grupal escrito. Al analizar las entrevistas encontré detalles relacionados con estos resultados que describen las nuevas habilidades que los estudiantes parecen adquirir. Once de los doce estudiantes entrevistados dijeron que sienten que **la física es algo más cotidiano, útil y comprensible**, con expresiones como las siguientes:

Estudiante 12: "...ahora miro algo o voy por la calle pienso... tal aparato... ¿cómo funciona? Es decir, en mi mente cuando veo algo trato de hacerle un diagrama y trato de decir: ah! esto funciona así, actúan tales fuerzas pero tal fuerza debe ser menor a ésta porque se mueve así".

Tabla 3
Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Manejo Conceptual en las matrices de criterios de evaluación de las entregas grupales, orales y escritas, e individuales de los estudiantes.

Tipo de proyecto	Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas t Student		
		Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Grupal Oral	Inicial	4,12	0,46	3,0-5,0	4,0	////	0,51	3,62***
	Media	4,17	0,56	3,0-5,0	4,0	0,51	////	2,58*
	Final	4,38	0,31	4,0-5,0	4,5	3,62***	2,58*	////
Grupal Escrito	Inicial	3,25	0,86	2,0-5,0	2,5	////	5,14***	6,89***
	Media	3,95	0,61	2,0-5,0	4,0	5,14***	////	2,36*
	Final	4,23	0,70	2,5-5,0	4,5	6,89***	2,36*	////
Individual Escrito	Inicial	3,21	0,72	1,5-5,0	3,0	////	3,71***	7,34***
	Media	3,67	0,71	2,0-5,0	4,0	3,71***	////	3,65***
	Final	4,15	0,71	2,5-5,0	4,5	7,34***	3,65***	////

* $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Estudiante 3: "Veo la física como más practica, más elemental, más funcional; no tantas fórmulas y algo tan abstracto como uno lo veía en el colegio sino como más aplicable a lo que puedo hacer".

Otro aprendizaje expresado por 7 de ellos se relaciona con ver evidencia de la diferencia entre los diseños teóricos y los reales y con que **aprenden más física si la aplican**:

Estudiante 3: "Mientras uno está haciendo un proyecto, uno piensa en la teoría y después de trabajarle uno cree que todo

va a funcionar fácil porque ya lo entendió... pero cuando llega el momento de hacerlo, ahí sí salen muchísimas cosas que no funcionan. Entonces solucionar los problemas sí es complicadísimo, aplicar los conceptos bien no es tan fácil, uno encuentra puntos muertos y le toca pensar más".

Estudiante 6: "Uno aprende a aplicar los conceptos. Por ejemplo, cuando hicimos el móvil, uno no se preocupaba tanto por saberse la fórmula y aplicarla en el ejercicio, sino que uno ya viendo la teoría podría ponerla en práctica y se daba cuenta de la diferencia que hay entre hacer un ejercicio escrito y ponerlo en prueba, esa es como la vida real y es más difícil".

Calibración

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos para la categoría de "calibración del objeto" que se presentaba en los PG. Las diferencias en los resultados obtenidos a lo largo del curso son estadísticamente significativas en todos los casos, pero las sustentaciones orales presentan menos variaciones (promedios de 4,18, 4,43, 4,72) que las entregas escritas (promedios 2,96, 3,36, 4,10). En general, los estudiantes realizan pruebas previas para garantizar que el objeto satisface las restricciones requeridas, pero al iniciar el curso no llevan un registro de este proceso o no realizan cálculos pertinentes y necesarios que ayudarían en el proceso de diseño, lo cual se evidencia en una moda de 2,5. Este valor se modifica a 4,5, lo que indica que al final del curso registran sistemáticamente el proceso de calibración y realizan los cálculos respectivos.

En las entrevistas se hizo evidente que, para poder hacer la reflexión permanente sobre su aprendizaje, los estudiantes requerían estar muy pendientes de las acciones realizadas. Esto influyó en la categoría de calibración del objeto, en especial en el informe escrito, lo que llevó a dos tipos de posturas en la forma de proceder para informar sobre este proceso. Por un lado cinco de los 12 estudiantes demostraron gran sistematicidad en los registros, diciendo cosas como:

Estudiante 11: "Nosotros siempre anotamos todo: vamos haciendo las medidas, los pesos, las alturas, los cálculos, y le tomamos fotos a todo porque nos ha pasado que algunas veces la entrega fue fatal y no lo logramos {que el objeto funcionara} pero igual era una buena idea, y si tenemos el registro eso fue muy bueno para el trabajo y para darnos cuenta qué aportes y qué cosas sí funcionaron".

Tabla 4
Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Calibración en las matrices de criterios de evaluación de las entregas grupales, orales y escritas, e individuales de los estudiantes.

Tipo de proyecto	Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas t Student		
		Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Grupal Oral	Inicial	4,18	0,71	3,0-5,0	4,5	////	2,15*	5,38***
	Media	4,43	0,58	3,0-5,0	5,0	2,15*	////	3,37***
	Final	4,72	0,35	4,0-5,0	5,0	5,38***	3,37***	////
Grupal Escrito	Inicial	2,96	0,68	1,5-4,5	2,5	////	3,35**	8,05***
	Media	3,36	0,66	2,5-4,5	3,0	3,35**	////	5,26**
	Final	4,10	0,88	2,5-5,0	4,5	8,05***	5,26**	////

* p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01

Los otros siete estudiantes expresaron menos sistematicidad:

Estudiante 2: "Generalmente escribimos el trabajo al final, pero tenemos una lista de ideas, por así decirlo, donde están los modelos que hemos hecho, donde están los errores que hemos tenido, los materiales que hemos usado y este tipo de cosas".

Consideraciones sobre materiales

La elección de los materiales que se deben emplear en la elaboración de un objeto determina en muchos casos si es funcional o no. La elección se basa en muchos casos en propiedades físicas. La Tabla 5 (ver siguiente página) muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en este ítem para los PGE y PI. En ambos casos la tabla refleja que las

diferencias en los resultados entre la entrega inicial y la final son estadísticamente significativas.

En las entregas grupales la categoría se refiere a la elección adecuada de materiales para la construcción del objeto por parte del grupo, y las variaciones que se presentan en los promedios (3,33, 4,03, 4,30) y las modas (3,5, 4,0, 4,5) corresponden a si los estudiantes definen o no desde la física las propiedades de los materiales como dureza, elasticidad, resistencia, coeficiente de rozamiento, etc. En el caso de la entrega individual, esta categoría buscaba que los estudiantes analizaran las propiedades de los materiales que habían empleado los diseñadores del objeto estudiado para que determinaran si la elección era acertada o podía mejorarse. En este tipo de desempeño,

Tabla 5
Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Consideraciones sobre materiales en las matrices de criterios de evaluación de las entregas grupales escritas e individuales de los estudiantes.

Tipo de proyecto	Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas t Student		
		Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Grupal Escrito	Inicial	3,33	0,74	1,5-4,5	3,5	////	6,36***	8,58***
	Media	4,03	0,45	3,5-5,0	4,0	6,36***	////	3,15**
	Final	4,30	0,49	3,5-5,0	4,5	8,58***	3,15**	////
Individual Escrito	Inicial	2,63	0,82	1,5-5,0	2,5	////	1,76	6,93***
	Media	2,95	1,15	1,5-5,0	1,5	1,76	////	4,37***
	Final	3,82	1,07	1,5-5,0	4,5	6,93***	4,37***	////

* $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

inicialmente, los estudiantes consideraban algunas de las propiedades físicas necesarias en los materiales empleados en la realización del objeto que planteaba el proyecto, pero no profundizaban en las implicaciones de esto para su buen funcionamiento (promedio de 2,63). Su desempeño se modifica hasta determinar casi todas las propiedades físicas de los materiales y hacer aplicación parcial de ellas (promedio 3,82).

Al analizar las entrevistas, siete de los 12 estudiantes creen que una de las principales causas para encontrar dificultades en la realización de los objetos es no analizar previamente las propiedades de los materiales que pensaban emplear, así como uno de ellos describe:

Estudiante 8: "A la hora de trabajar es muy diferente ...por ahí dicen el papel aguanta todo y uno dibujaba y hacía y se

imaginaba maravillas, pero pues las cosas reales son diferentes. Uno nunca tiene en cuenta los problemas con el pegante, todos los inconvenientes que hay a partir de materiales. Por ejemplo como con el tobogán, no funcionaba porque había demasiada ficción, fricción es una vaina física... ahora la solución era cambiar el material. Si uno no tiene las bases físicas que está viendo en el curso, uno no ve esos errores y en esta carrera uno tiene que saber de materiales".

Sin embargo, en ninguna de las entrevistas los estudiantes hablan del análisis de materiales para el proyecto individual.

Análisis gráfico

La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos para la categoría de análisis gráfico del problema para los PGE y PI. Aunque las diferencias entre los resultados al

Tabla 6
Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Análisis Gráfico del Problema en las matrices de criterios de evaluación de las entregas grupales escritas e individuales de los estudiantes.

Tipo de proyecto	Grafico Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas t Student		
		Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Grupal Escrito	Inicial	2,64	1,00	1,5-4,5	1,5	////	3,26**	3,91***
	Media	3,20	0,93	1,5-5,0	2,5	3,26**	////	0,46
	Final	3,28	0,81	1,5-5,0	3,5	3,91***	0,46	////
Individual Escrito	Inicial	2,01	0,81	1,5-4,0	1,5	////	1,76	6,93***
	Media	2,45	1,03	1,5-4,5	1,5	1,76	////	4,37***
	Final	2,76	1,08	1,5-5,0	1,5	6,93***	4,37***	////

* $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

principio y final del curso son estadísticamente significativas, también es posible leer en la tabla que esta categoría es la que menor nivel de desempeño presenta en relación con las demás. Esto se evidencia en los niveles promedio (2,64 y 3,28, escrita; 2,01-2,76, individual), que implican que la representación gráfica que realizan los estudiantes no está completa o que emplean incorrectamente los conceptos físicos necesarios. Es decir, pocos estudiantes llegan a realizar diagramas de cuerpo libre correctos y acordes con los objetos diseñados y las fuerzas que actúan sobre ellos. En muchos casos la moda es de 1,5 (aproximadamente el 30% de los estudiantes), lo que significa que la mayoría de los estudiantes no utilizan ningún tipo de representación gráfica con sentido físico y sólo presentan dibujos del objeto o de su desarrollo estético. Al observar la distribución de notas en cada entrega, se aprecia que cerca del 20% de los estudiantes obtienen valores mayores o iguales a 4,0, lo que indica un nivel de aprendizaje bajo y desigual en este ítem.

En las entrevistas, nueve de los 12 estudiantes expresan que el uso de información gráfica en el curso aporta a su aprendizaje, y dan razones como las siguientes:

Estudiante 5: "Uno como diseñador tiene una mente gráfica y es más fácil entender las imágenes que los conceptos escritos, por lo menos a mi me parece más fácil. Yo veo una imagen y entiendo más rápido que un texto de dos hojas".

Estudiante 11: "Si uno lo dibuja como que tiene más claro qué es lo que tiene que pasar en una ecuación... en una ecuación solamente uno como que no le halla sentido, mientras que si uno lo dibuja después pasarlo {a la ecuación} pues es otra cosa y es más fácil, me parece a mi".

Parece haber dos aspectos involucrados en el uso de un lenguaje gráfico en el curso. El primero se relaciona con aprendizajes que dependieron de las acciones que yo realicé como maestra en la clase. Aquí 11 de los estudiantes consideraron que:

Estudiante 3: "El análisis gráfico del problema primero es una parte importantísima de entender el problema. Los análisis, por lo menos los que tú haces en clase son muy claros, de pronto los que hacemos nosotros no mucho porque no sé, {nos} falta conocimiento".

Estudiante 9: "El verte hacer cosas gráficas me aclara muchas cosas para {luego} poder hacerlas. Tú {en clase} lo hacías con cosas que nos rodean como montaña rusa y todo eso, entonces eso aclara más las ideas que uno tenía erradas y aprende uno rápido".

El segundo aspecto tiene que ver con el tipo de aprendizaje que los estudiantes relacionan con esta práctica. Seis de ellos consideraron que el análisis gráfico les ayudaba a ver diferencias entre algunos conceptos relacionados y de fácil confusión en el aprendizaje tradicional. Algunos ejemplos citados fueron los siguientes:

Estudiante 4: "Aprendí a manejar de verdad los vectores como son... con magnitud y sentido".

Estudiante 8: "Uno se ubica en el espacio y uno piensa para donde van las fuerzas {y} sabe {observa} que hay diferencia entre las fuerzas, aceleración y velocidad".

Estudiante 9: "Yo nunca en mi vida había hecho un diagrama de torques, entonces me parece muy bueno y aprendí por lo menos que no es igual al de fuerzas".

Sin embargo siete de ellos expresan que:

Estudiante 2: "Es complicado hacer un diagrama porque uno pensaba que el diagrama {que había hecho} estaba bien y cuando le entregaban el trabajo calificado estaba totalmente mal, entonces uno se preguntaba ¿cómo así y cómo se hace? Y luego aprendía muy lento las cosas de los diagramas que estaban mal y ya después los hacía uno bien".

Al indagar por las causas de esta dificultad ejemplificaron varias razones como las siguientes:

Estudiante 2: "Hay fuerzas que uno piensa que están pero no están y hay otras que {uno cree que} no están pero si están... entonces es difícil como analizar todo lo que actúa {sobre el objeto} para hacer bien el diagrama".

Estudiante 5: "Me confundía con la normal, el peso y la gravedad y {me preguntaba} ¿cuántas veces es que suma y para dónde? Y todo eso confunde un poco. Luego uno coge un libro y empieza a mirar bien y dice ah! no, es que ésta va es así. Pero otras cosas no aparecen".

Reflexión personal sobre el aprendizaje

En este aspecto, también valorado en las matrices de evaluación, la Tabla 7 muestra que en los resultados obtenidos para los PG y PI se presentan variaciones estadísticamente significativas entre las entregas iniciales y finales. La tabla indica que los estudiantes alcanzan un nivel de reflexión que expresan mucho mejor de manera oral que escrita. En la presentación oral los estudiantes expresan las dificultades que tuvieron en el desarrollo de sus proyectos, cómo las superaron y cómo ello mejoró su conocimiento de física, lo que corresponde a valores promedio en la matriz de 4, 25, 4, 32 y 4, 60. Se puede leer también en la tabla que las desviaciones estándar varían de 0,57 a 0,35, lo que implica que las diferencias individuales entre estudiantes se reducen.

Para los PGE, el curso se inicia con un nivel muy bajo de reflexión, en el cual los estudiantes expresan algunas dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto, pero no reflexionan sobre cómo las superaron ni qué aprendieron con ello, reflejado en un valor medio de 2,89 y una moda de 2,5. Al final del curso los estudiantes han alcanzado un nivel en el cual expresan por escrito las dificultades que se les presentaron y cómo las superaron, lo cual mejora el promedio y la moda a 3,89 y 4,5, respectivamente, incluso aunque no reflexionan sobre lo que aprendieron de física con el proyecto.

Sin embargo, la tabla muestra que el aprendizaje correspondiente a esta categoría en los proyectos individuales es uno de los de mayor variación a lo largo del curso. El promedio y la moda para la primera entrega corresponden a 1,69 y 1,5, lo que indica que los estudiantes no expresan ningún tipo de dificultad presentada ni reflexionan sobre lo que han aprendido. Al final del curso alcanzan el mismo nivel en su trabajo individual (promedio 3,67, moda 4,5) que en el proyecto grupal escrito.

Al preguntar en las entrevistas por la reflexión sobre su aprendizaje, los 12 estudiantes consideraron que al pensar qué sucedía en el proyecto notaban que aprender es un proceso:

Estudiante 2: "Todo tiene un proceso y como un camino para poder llegar a un gran objeto. Siempre que uno está haciendo un proyecto va a tener errores, y esos errores generalmente suelen pasar cuando uno no ha profundizando bien en el tema. Entonces, yo sí creo que el pensar en qué hago en proyecto lo hace caer a uno en cuenta de los errores que está cometiendo {y} uno siempre va a tratar de encontrar soluciones más practicas para lo que está utilizando la física".

Siete de ellos hicieron reflexiones profundas sobre su forma de trabajar y de aprender en el curso, como la siguiente:

Tabla 7
Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Reflexión sobre el proceso en las matrices de criterios de evaluación de las entregas grupales, orales y escritas, e individuales de los estudiantes.

Tipo de proyecto	Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas t Student		
		Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Grupal Oral	Inicial	4,25	0,57	3,0-5,0	4,0	////	0,76	4,09***
	Media	4,32	0,49	3,0-5,0	4,5	0,76	////	3,60***
	Final	4,60	0,35	4,0-5,0	4,5	4,09***	3,60***	////
Grupal Escrito	Inicial	2,89	0,92	2,0-5,0	2,5	////	2,66**	6,03***
	Media	3,36	1,06	2,0-5,0	4,0	2,66**	////	2,99**
	Final	3,89	0,93	2,5-5,0	4,5	6,03***	2,99**	////
Individual Escrito	Inicial	1,69	0,47	1,5-3,0	1,5	////	6,27***	16,08***
	Media	2,64	1,13	1,5-5,0	1,5	6,27***	////	4,28***
	Final	3,67	0,87	1,5-5,0	4,5	16,08***	4,28***	////

* $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Estudiante 4: " Uno se pone a pensar y nota que lo que pasa es que uno se mete a hacer {construir el objeto} y después piensa, ¿por qué no funciona? Uno no se pone primero a prever las cosas; siempre tiendes a probar y no a calcular... si uno calculara, pues de pronto ahorraría mucho tiempo. Pero una parte de que la física es muy lejana, los números son muy lejanos y muy abstractos entonces es como más cáigase, levántese y vuelva y comience. Así haciendo como que uno aprende."

Desempeños finales

Cada tipo de proyecto estaba orientado a desarrollar un desempeño deseable en los estudiantes de Diseño Industrial. En esta sección presento los resultados de los desempeños generales del curso: diseñar y construir objetos funcionales a partir del análisis físico y proponer mejoras a objetos diseñados, a partir del análisis físico.

- Objetos presentados:

Un aspecto que debo destacar es que el desempeño de los estudiantes es muy elevado en la presentación del objeto que se solicitó en las EG. La Tabla 8 muestra que para los

resultados obtenidos en esta categoría no hay diferencias significativas pues el promedio no varía (4,3). Esto se confirma a través de la moda, cuyo valor es 5,0, lo que implica que casi todos los objetos diseñados y presentados satisfacían todas las restricciones establecidas, funcionaban y eran estéticamente aceptables. Es decir, que si el objeto funcional era el objetivo primordial de los alumnos, en un gran número de casos lograban este desempeño. Esta información es coherente con la recolectada en las entrevistas, donde todos los estudiantes estuvieron de acuerdo en que para ellos el desarrollo de objetos es primordial, de modo que el curso se acercaba a su carrera. Uno de ellos expresó:

Estudiante 10: "Yo pienso que en esta carrera hay que hacer muchos, muchos proyectos porque si yo soy diseñadora voy a mi diseño, no va a ser una fórmula sino va a ser un objeto. ... de nada serviría aprenderse una fórmula si no sabe como aplicarla... Uno aprende a pensar qué de lo que aprendió en clase sirve para pasarlo al proyecto y que el objeto funcione".

Tabla 8
Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Objeto Presentado en las matrices de criterios de evaluación de las entregas grupales orales de los estudiantes.

Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas t Student		
	Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Inicial	4,34	0,71	3,0-5,0	5,0	////	0,23	0,39
Media	4,35	0,75	2,5-5,0	5,0	0,23	////	0,12
Final	4,38	0,41	4,0-5,0	5,0	0,39	0,12	////

* p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01

- Aporte, desde la física, al objeto analizado:

El último desempeño que consideré importante fue el aporte que los estudiantes hacían, como consecuencia de su aprendizaje de física, a su tema individual de profundización en el PI. Los resultados se presentan en la Tabla 9 (ver siguiente página). En la primera entrega los estudiantes no realizan ningún tipo de aporte al proyecto que analizaban. Esto se evidencia en un promedio de 1,96 y una moda de 1,5. La moda se mantiene a lo largo del curso (~30% de los estudiantes) y el promedio varía hasta 2,79, lo que implica que el aporte realizado al proyecto es básico, no está basado en un estudio físico o no puede aportar mejoras reales al proyecto analizado. Sin embargo, por el rango tan amplio de los valores obtenidos también

se puede encontrar que cerca de un 25% de los estudiantes del curso hacen aportes reales basados en el análisis físico que realizaron.

Al analizar las entrevistas, sólo 3 estudiantes consideraron que la entrega individual les brindó un espacio para mejorar proyectos ya diseñados. En palabras de uno de ellos,

Estudiante 12: "En la entrega {individual} a mí me costó mucho trabajo {entender} qué era lo que se pretendía con ella. Ahora que llevamos tres meses trabajando es muy chévere porque ya con los conceptos que hemos manejado en la clase uno empieza a investigar y a innovar, ¿no? Que es como la idea de esta carrera".

Tabla 9
Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Aporte al proyecto estudiando en las matrices de criterios de evaluación de las entregas individuales de los estudiantes.

Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas <i>t Student</i>		
	Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Inicial	1,96	0,63	1,5-3,5	1,5	////	0,45	5,27***
Media	2,08	0,84	1,5-4,0	1,5	0,45	////	4,48***
Final	2,79	1,06	1,5-5,0	1,5	5,27***	4,48***	////

* $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Discusión

Aprendizaje de conceptos físicos

Casi siempre los estudiantes ven los cursos de física como una lista de temas y fórmulas en donde no encuentran fácilmente el hilo conductor o el grupo de principios básicos que guían esta ciencia. Básicamente la consideran una materia en la que deben memorizar muchas fórmulas. Tradicionalmente es poco frecuente que los estudiantes establezcan relaciones entre los diferentes contenidos del curso y que comprendan que aplican unos pocos principios en muchos casos diferentes. La forma en que dictan y organizan los cursos no parecen ayudarles en esto. En el caso particular de los diseñadores, esta percepción tradicional es aun más fuerte debido a sus malas experiencias previas y a la carencia de bases matemáticas. En general, demuestran falta de gusto por la física. Por ello no es de extrañar que los resultados obtenidos en la prueba tradicional muestren que no aprobarían el curso, a pesar de que los resultados estadísticos expresan aprendizaje. Algunas expresiones en las entrevistas que realicé indican que la medición del desempeño en pruebas tradicionales les generan angustia, desmotivación y poco nivel de logro, mientras que los proyectos les permiten demostrar mejor su trabajo y su comprensión. Esto los motiva a profundizar más, con lo que mejora su nivel de aprendizaje y, por ende, de desempeño. Pero la primera sensación que queda es que los estudiantes no aprenden suficiente física.

El aporte de mi innovación pedagógica y de esta investigación consiste en exponer que sí hay aprendizaje de física, pero que éste ocurre de una manera diferente y se manifiesta, de igual forma, de manera distinta. Los alumnos observan y expresan que las modificaciones introducidas en su curso los llevan a encontrar sentido al

conocimiento físico, lo cual puede hacer más probable que recurran a él cuando lo requieran en su desempeño cotidiano. Los resultados muestran evidencia de que los estudiantes logran determinar y definir de forma contextualizada los conceptos necesarios para que sus diseños funcionen. No aprenden a definir por definir, ni usan la fórmula porque el profesor dice que es la que sirve, sino que identifican conceptos que en realidad tienen sentido en lo que están diseñando y los usan para mejorar sus diseños.

Las formas de evaluación que utilicé en el curso enseñan que aprender a identificar los conceptos físicos necesarios para analizar una situación problema, definirlos y establecer algunas relaciones entre ellos es un proceso que sucede con relativa rapidez, ya que las variaciones más significativas, tanto en los proyectos individuales como en los grupales, se dan hacia la mitad del curso. Las variaciones posteriores no son tan importantes, pero se mantienen los niveles alcanzados previamente. Como consecuencia de este proceso, a lo largo del curso se da un aprendizaje de conceptos que es significativo, dado que se modifica el conocimiento previo de manera que permite aproximaciones a la realidad más cercanas a las que plantean los modelos científicos.

Sin embargo, es importante notar que no se logró alcanzar el más alto nivel de desempeño esperado en los estudiantes. Es decir, pocos estudiantes llegaron a niveles en los cuales sus trabajos escritos muestran que definen correctamente todos los principios físicos involucrados en el proyecto y las relaciones que se producen entre ellos, que es lo que llevaría a confiar en una construcción teórica más sólida. Una consecuencia de este nivel de desempeño no tan elevado es que algunas veces no distinguen ni diferencian conceptos y con ello pierden claridad sobre la comprensión de la física como modelo teórico que brinda una explicación del mundo.

Considero que este resultado puede tener varias causas. Una de ellas podría ser que los estudiantes atribuyen poca importancia a definir en palabras o fórmulas los conceptos físicos, si luego pueden demostrar que los aplican correctamente. Algunos quizá consideren innecesario repetir lo que ya está en los libros y que no les parece muy útil ni muy comprensible. Otra causa podría atribuirse a que el curso requeriría mayor esfuerzo por parte de los estudiantes, ante todo en ser sistemáticos y previsivos con el trabajo previo de conceptualización que se requiere para los proyectos y que no se lleva a cabo completamente, como era frecuentemente evidente en clase y como se evidencia en algunas entrevistas. Desde el punto de vista pedagógico, habría que pensar en estrategias que produjeran de forma más efectiva estos comportamientos, pues ellos propician un mejor aprendizaje de los conceptos y sus relaciones. Tal vez se hace necesario incluir este trabajo de clase como parte de la evaluación efectiva del proyecto, o realizar las discusiones en colaboración de forma más permanente y controlada en más sesiones de clase y no solo las sesiones previas al desarrollo de los proyectos.

Otros Aprendizajes en física

De manera coherente con lo presentado en el marco teórico, los resultados de la investigación muestran que al utilizar contextos reales de desempeño se incrementa la comprensión de los temas científicos, en este caso de la física. Los estudiantes aprenden más física al poder aplicar concretamente los conceptos a sus diseños. De modo consecuente, mi objetivo de generar una transferencia real del conocimiento propio del curso hacia la profesión elegida por los estudiantes se cumple, porque ellos llegan a aplicar más flexiblemente el conocimiento físico de un pequeño grupo de principios estudiados para entender situaciones diversas y mejorar sus diseños. Verificar este aprendizaje es probablemente el logro más importante de mi investigación, pues muestra que poner en práctica nuevas acciones pedagógicas, aunque no es simple, sí puede generar aprendizajes de física significativos en los estudiantes.

La transferencia que ocurrió en mis estudiantes incluye diferentes procesos, como explicar el funcionamiento del objeto a partir de conceptos físicos, utilizar conocimientos físicos para diseñar y escoger materiales, realizar cálculos de magnitudes físicas para aplicarlos a su diseño y finalmente construir objetos funcionales a partir de estos procesos. En todas estas actividades los niveles de

desempeño de los estudiantes mejoraron positiva y sensiblemente. Es un aprendizaje de enorme valor porque constituye superar la barrera de la intuición y el conocimiento cotidiano para emplear herramientas científicas que permitan entender el funcionamiento de sus objetos y poder hacer mejores diseños a partir de lo que han aprendido.

Las entrevistas muestran que, al abordar el diseño de un nuevo proyecto, los estudiantes de Diseño Industrial casi siempre escogen como primera acción construir el objeto. Esto los lleva a cometer demasiados errores y construir objetos no funcionales. Uno de los mayores avances de mis estudiantes es el desarrollo de las habilidades necesarias para explicar cómo funcionan algunos objetos a partir de principios físicos. Esta aplicación de los conceptos teóricos a objetos concretos, les permite ver la importancia de analizar previamente las necesidades del diseño y con ello ser más sistemáticos en su proceder. Creo que mi deseo como físico y como docente sería que esta misma necesidad los llevara a profundizar más en los conceptos que explican cómo funciona el objeto, con lo cual se evidenciaría que el aprendizaje de la física no termina cuando termina el curso, sino que, por el contrario, este proceso fortalece su desarrollo como diseñadores. De otro lado, algunos aprendizajes que también considero importantes como el manejo del lenguaje gráfico, el análisis de materiales y las mejoras al proyecto analizado individualmente, aunque avanzan, no alcanzan niveles satisfactorios. Mi hipótesis al respecto es que este tipo de desempeños evidencian un manejo más teórico del conocimiento físico que, como ya mencioné, no se desarrolla suficientemente. En el caso del análisis gráfico se requiere por parte de los estudiantes una claridad conceptual mayor, y ellos mismos reconocen esta falencia. Expresan que como herramienta de clase la representación gráfica es importante y les aporta mucho, pero como parte de su expresión de aprendizaje de física no es igualmente importante y les genera muchas dificultades. Las representaciones gráficas revelan qué conceptos no les han quedado totalmente claros o cuáles de ellos confunden. En el análisis de materiales el mejor nivel alcanzado en los proyectos grupales frente al individual puede deberse a que los estudiantes no tenían que hacer el objeto de la entrega individual. Por ello el análisis de materiales era teórico y al no necesitar actividades aplicadas, no lograron un buen nivel de desempeño. Posiblemente éste hubiese sido mejor, si hubieran hecho un prototipo del objeto, porque el análisis hubiera sido más concreto. En este caso, la evidencia parecería apoyar la importancia del verdadero

desempeño auténtico del diseñador, para alcanzar mayores niveles de logro.

Pero debo repetir que los desempeños teóricos más auténticos de la disciplina de la física no se logran a buen nivel. El diseño del curso orientado al quehacer práctico del diseñador lleva a los estudiantes a mantener el interés y tener un mayor desempeño en la realización de proyectos y a lograr un alto grado de aprendizaje en los aspectos de aplicación y construcción directa de objetos (desempeños de transferencia), pero no logra aún una mejora tan significativa en aspectos más teóricos del curso (desempeños propios de la disciplina científica). Bajo la hipótesis de que al mejorar la construcción teórica y la comprensión de conceptos puede haber mejor aplicación, me gustaría lograr acciones pedagógicas que la propicien más eficazmente.

Probablemente se necesita más discusión explícita con los alumnos acerca de los modelos teóricos de la física y su importancia aun para ellos, que prefieren verla como algo aplicable. Una de las herramientas que tal vez podría ayudar a cerrar la brecha es el proceso de reflexión que llevan los estudiantes a lo largo del curso. Éste es uno de los aspectos en los cuales se presenta mayor avance en el aprendizaje. Igualmente las entrevistas demuestran una reflexión importante acerca de los procesos que vivieron los estudiantes en el curso. Sin embargo, esta reflexión casi no expresa qué piensan ellos que aprendieron específicamente de física con los proyectos. Si se incluye explícitamente este aspecto en los trabajos y en las matrices de evaluación, es posible que se logre que los estudiantes lo tengan permanentemente presente y que avancen en su comprensión de qué aspectos de su aprendizaje en física se profundizaron y cómo ello repercute en mejoras no sólo de sus proyectos sino de sobre su conocimiento teórico.

Otras acciones pedagógicas pertinentes para disminuir esta brecha entre los desempeños auténticos de la física y los que he denominado de transferencia podrían ser, por ejemplo, desarrollar actividades en clase que propicien el análisis gráfico de manera más permanente por parte de los estudiantes y no sólo por parte del profesor; revisar, conjuntamente, la redacción de los criterios de la matriz para discutir y acordar qué significa cada ítem, en qué categoría de aprendizaje hacen énfasis, cómo podrían mejorarlos y por qué todos son importantes aun para ellos que prefieren ver la física como algo aplicable.

Probablemente es importante también revisar, en los grupos de trabajo de clase, los trabajos individuales y grupales escritos a la luz de estos criterios de evaluación,

para realizar una retroalimentación más efectiva sobre estos aprendizajes más teóricos y menos aplicados.

Retos hacia el futuro

Desde lo pedagógico queda mucho por hacer. Algunas acciones interesantes y factibles en el mediano plazo son evaluar qué proyectos aportan mejor al aprendizaje de los estudiantes, investigar más acerca de la dificultad del avance conceptual por su parte e introducir innovaciones de este tipo en cursos para alumnos de otras carreras. En el caso de los proyectos, los que utilicé fueron surgiendo como objetos interesantes, pero sería importante poder determinar cuáles de ellos enseñan más y buscar estrategias para complementarlos con otros que generen mayores niveles de complejidad en el aprendizaje. Sería importante, igualmente, generar más oportunidades de aprendizaje en espiral para reelaborar conceptos básicos. Se hace necesario investigar cómo otras herramientas pedagógicas pueden actuar sobre la brecha entre las aplicaciones de la física y su marco conceptual. Mi investigación parece mostrar que este paso es difícil para los estudiantes; es definitivamente difícil pensarlo pedagógicamente desde la posición de profesor. Más investigaciones en esta dirección podrían ayudar a mejorar los procesos de aprendizaje en mi curso y en otros de física. Y sobre los cursos para otras carreras, sería importante determinar qué aspectos de mi innovación pueden ser pertinentes para otros alumnos, utilizarlos y medir su impacto. Con ello se abrirían campos interesantes para la docencia de la física desde una perspectiva que la haga accesible para todos.

Referencias

- Ausubel, D.; Hanesian, H. & Novak, J. (1983). *Psicología Educativa, un punto de vista cognoscitivo*. México: Editorial Trillas. 2ª edición.
- Boix-Mansilla, V. & Gardner, H. (1997). What are the qualities of understanding? En M. S. Wiske (Ed.). *Teaching for Understanding: Linking research with practice* (pp. 161 - 196). San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Goodrich, H. (1999). When assessment is instruction and instruction is assessment: Using rubrics to promote thinking and understanding. En L. Hetland & S. Veenema (Eds.). *The Project Zero Classroom: View on understanding*. Cambridge, MA.: Project Zero.

- Hecth, E. (2000). *Física con álgebra y trigonometría*. México Editorial Thomson. 2ª edición.
- Knoblauch, C. H. & Brannon L. (1983). Writing as learning through the curriculum. *College English*, 45, 465-474.
- Mackin, J. (1996). A creative approach to physics teaching. *Physics Education*, 31, 199-202.
- Nieda, J & Macedo, B. (1997). *Un currículo científico para estudiantes de 11 a 14 años*. España: UNESCO.
- McDermott, L. (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned - Closing the gap. *American Journal Physics*, 59, 301-315.
- Mestre J. P. (2001). Implications of research on learning for the education of prospective science and physics teachers. *Physics Education*, 36, 44-51.
- Ordóñez, C. (2003). *Currículo para los Colegios de la Asociación Alianza Educativa, Marco Conceptual*. Manuscrito no publicado, CIFE - Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- Perkins D. (1997). What is Understanding?. En M. S. Wiske (Ed.). *Teaching for Understanding: Linking research with practice* (pp. 39 - 57). San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Piaget, J. (1969). *Psicología y pedagogía*. España: Editorial Ariel.
- Savery, J. & Duffy, T. (1996). Problem based learning: an instructional model and its constructivist framework. En B. G. Wilson (Ed.). *Constructivist learning environments: case studies in instructional design*. New Jersey: Educational Technology Publications.
- Schön, D.A. (1987). *Educating the reflective practitioner*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Snow, C. & Kurland B. (2001). Sticking to the point: talk about magnets as a context for engaging in scientific discourse. En Hicks D. (Ed.) *Discourse, learning and schooling*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Thomchick, E (1997). The use of collaborative learning in logistics classes. *Journal of Business Logistics*, 18, 191-205.
- Vygotsky, L. (1985). *Pensamiento y lenguaje*. México: Editorial Alfa y Omega.
- Webb, N. (1985). Student interaction and learning in small groups: A research summary. En R. Slavin, S. Sharan, S. Kagan, R. Hertz-Lazarowitz, C. Webb y R. Schmuck (Eds.) *Learning to Cooperate; Cooperating to Learn* (pp. 147 - 172). New York: Plenum.
- Whitelegg, E. & Parry, M. (1999). Real life contexts for learning physics: meanings, issues and practice. *Physics Education*, 34, 68-72.
- Woodward, H. (1998). Reflective journals and portfolios: learning through assessment. *Assessment and evaluation in higher education*, 23, 1.4.