

COMO ENSEÑAMOS Y COMO APRENDEN LOS ESTUDIANTES: ¿UN DESAJUSTE? - Segunda Parte

LILIAN C. McDERMOTT

Physics Department FM - 15, University of Washington, Seattle, WA 98195, USA

Traducción: Licenciada Mercedes Vendramini de Sánchez con la revisión de A. P. Maiztegui.

3. El crecimiento de la capacidad de razonar científicamente no es un resultado típico de la enseñanza de la Física: él debe ser cultivado expresamente.

La mayoría de los físicos concuerdan en que es importante que los estudiantes aprendan a reconocer lo que ellos entienden y lo que no entienden, y a reconocer qué es y qué no es, una explicación científica. En la mayoría de los estudiantes, la habilidad para hacer estas distinciones no se desarrolla espontáneamente sino que debe ser expresamente cultivada a pesar de que los físicos son propensos a creer que el estudio de sus materias ayuda a desarrollar habilidades de pensamiento crítico, la mayoría de los estudiantes no mejora su habilidad para razonar científicamente durante un curso de Física enseñado en la manera tradicional: como está implícito en los resultados de la investigación informada en las dos secciones previas, la resolución de problemas cuantitativos estándar no refuerza el desarrollo de habilidades para pensar críticamente.

Muchas dificultades que tenían los estudiantes con circuitos eléctricos no son de naturaleza puramente conceptual, sino también reflejan un incapacidad para hacer el razonamiento cualitativo involucrado en el desarrollo y aplicación de conceptos. Con frecuencia es imposible separar dificultades

con los conceptos de dificultades con los razonamientos. Más adelante discutiremos dos tipos de dificultades de razonamiento que agravan las dificultades conceptuales con corriente y diferencia de potencial.

Dificultades específicamente de razonamiento: incapacidad para construir o aplicar un modelo conceptual.

En nuestra investigación de cómo comprenden los estudiantes los circuitos eléctricos, encontramos que pocos estudiantes intentaron construir un modelo conceptual por cuenta propia. Cuando a los estudiantes en un curso tradicional de física se les dió alguna ayuda para desarrollar un modelo, con frecuencia necesitaron que se les recordara hacer uso de ésta. Sin la variedad de oportunidades que proveíamos en nuestros cursos basados en laboratorio, para participar en la aplicación del modelo, los estudiantes mejor preparados en el curso basado en cálculo no desarrollaron el mismo grado de competencia en predecir y aplicar el funcionamiento de un circuito eléctrico simple.

Dificultades específicamente de razonamiento: tendencia a razonar secuencialmente y localmente en lugar de globalmente.

Siempre que los sistemas interactúan unos con otros, los cambios en cualquiera de ellos pueden tener un profundo efecto sobre los

otros. En tales circunstancias no es posible hacer una predicción válida para cada uno sin tener en cuenta los cambios que resultan en todos los otros sistemas debido a su interacción mutua.

3.1. Ejemplos de razonamiento local incorrecto acerca del funcionamiento de circuitos eléctricos.

Cuando en el circuito se hace un cambio, los estudiantes con frecuencia localizan su atención solamente en el punto donde ocurre el cambio, sin reconocer que el cambio realizado en un punto en un circuito puede producir cambios en otros puntos. Hay una tendencia a pensar localmente o secuencialmente en lugar de razonar globalmente. Los estudiantes pueden concebir un circuito ya sea como consistente de componentes aislados que se pueden analizar independientemente unos de otros, o como consistentes de componentes que pueden ser analizadas una después de la otra consecutivamente a lo largo del circuito.

• La creencia en que importa el sentido de la corriente y el orden de los elementos.

Al ordenar los bulbos para los circuitos mostrados en la Fig.2, algunos estudiantes indicaron la creencia de que el sentido de la corriente y el orden de los elementos producen una diferencia. Un estudiante explicó que los bulbos A, B, D y E eran igualmente brillantes "porque la corriente es libre de fluir a través de ningún otro bulbo primero". Este estudiante razonaba que "el bulbo C es menos brillante que el bulbo B porque la corriente encontrará cierta resistencia cuando fluye a través del bulbo B." Otros usaron razonamientos similares al predecir que el bulbo sería más brillante que el bulbo B. La elección del bulbo más brillante dependió de que el estudiante estuviera pensando en la corriente convencional o en la corriente electrónica.

En un pregunta escrita basada en el circuito de la Fig. 4, se preguntó a los estudiantes cómo afectaría al brillo del bul-

bo A la apertura de la llave. Como la resistencia total del circuito aumentaría, la corriente a través del bulbo A disminuiría y su brillo disminuiría. Muchos estudiantes predijeron que el brillo del bulbo A no cambiaría argumentando que "la corriente pasa primero a través del bulbo A". Hemos encontrado que un razonamiento local de naturaleza secuencial es especialmente común cuando a los estudiantes se les pide predecir cambios en puntos que están a un potencial más bajo que el del punto en el cual se realiza el cambio. Una tendencia a razonar localmente es también probablemente un factor que contribuye a algunos de los errores que cometen los estudiantes porque creen que la corriente "se desgasta" a lo largo de un circuito.

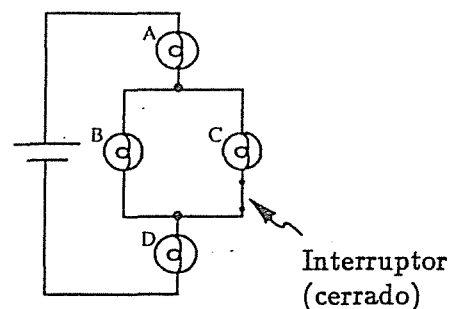


Figura 4: En el circuito mostrado a los estudiantes se les pidió que predijeran: 1) la luminosidad relativa de los bulbos idénticos mientras el circuito estaba cerrado y 2) cómo se vería afectada la luminosidad de cada bulbo al abrirse el circuito.

Fallas para distinguir entre ramas conectadas en paralelo a la batería y conectadas en paralelo en otra parte cualquiera del circuito.

La diferencia entre ramas paralelas conectadas a la batería y ramas paralelas conectadas en cualquier parte del circuito constituye otro ejemplo de falla para pensar globalmente.

En un examen escrito se pidió a los estudiantes predecir cómo, la apertura de la

llave en la Fig. 4, afectaría el brillo de la lámpara B. Como la diferencia de potencial a través del bulbo B aumentaría, el bulbo se tornaría más brillante. Sin embargo muchos estudiantes argumentaron que el brillo permanecería igual porque el bulbo B era parte de una conexión en paralelo. Estos estudiantes fallaron en reconocer las condiciones bajo las cuales las ramas en paralelo son independientes unas de otras; no consideraron cómo difiere la relación con la batería para estos dos tipos de conexiones en paralelo.

Si dos ramas en paralelo están conectadas directamente a través de una batería ideal, entonces un cambio realizado en una de ellas no tiene efecto en la otra. Sin embargo, si las dos ramas en paralelo no están conectadas directamente a la batería, entonces un cambio en una rama afecta a la otra.

La habilidad para distinguir entre estos dos tipos de conexiones deviene importante cuando se introducen baterías reales en lugar de las ideales. Es una costumbre representar una batería real con una batería ideal en serie con una resistencia. La porción del circuito diagramado en la Fig. 4 que contiene la batería, el bulbo A, y el bulbo D es equivalente a este enfoque. Así, el bulbo B y el bulbo C pueden pensarse como una red paralela conectada a los terminales de una batería real. Para entender los efectos de reemplazar una batería ideal por una real, los estudiantes deben entender cómo una resistencia en serie con una red afecta esa red.

3.2. Ejemplos de estrategias instruccionales para cultivar la habilidad de razonar sobre el comportamiento de un circuito eléctrico.

Como indica la investigación descripta en este trabajo la mayoría de los estudiantes en un curso introductorio de Física no desarrolla comprensión funcional que los capacite para aplicar los conceptos de corriente eléctrica básicos a una variedad de circuitos

de corriente continua. Nosotros hemos encontrado que el uso de la construcción de un modelo como una estrategia instruccional general, acompañado con estrategias adicionales para tratar dificultades especiales, puede ayudar a los estudiantes a desarrollar las técnicas de razonamiento necesarias. La habilidad para aplicar un concepto en situaciones distintas a las que fue introducido requiere no sólo una comprensión profunda del concepto sino también la habilidad de hacer el razonamiento necesario.

• Presentación de preguntas cualitativas que requieren pasos de múltiples razonamientos.

En nuestros cursos los estudiantes realizan una gran cantidad de práctica en resolver problemas cuantitativos de pasos múltiples. Por ejemplo se les pide predecir y explicar los efectos de cambios imaginados en una parte del circuito, sobre otra parte del circuito. Si bien en problemas de circuitos se les da a resolver menos problemas numéricos estándar, en aquellos problemas hemos encontrado que ellos se desempeñan mejor que otros estudiantes.

• Requerimientos de explicaciones explícitas de razonamiento.

Una estrategia general de enseñanza que creemos de suprema importancia para el desarrollo de la capacidad de razonar es insistir en que los estudiantes sean capaces de explicar claramente el razonamiento empleado para resolver un problema. Esta política es mantenida en pre-test, exámenes finales y entrevistas privadas con estudiantes. Como resultado, los estudiantes desarrollan capacidad para razonar basándose en modelos, y pueden aplicar el proceso a circuitos de una variedad de configuraciones. Así, además de desarrollar una habilidad particular de razonamiento científico, el estudiante, desde una instancia de primera mano, aprende qué se entiende por una explicación científica.

4. Los estudiantes no hacen espontáneamente conexiones entre conceptos, representaciones formales de la Física y el mundo real.

Nosotros encontramos que los estudiantes con frecuencia son incapaces de relacionar conceptos y representaciones formales de la Física (por ej. ecuaciones, diagramas, gráficos) entre ellas y con el mundo real.

Las investigaciones discutidas muestran conexiones que pueden parecer obvias a un físico, y pueden no ser reconocidas por los estudiantes. Después de haber comentado en primer lugar los ejemplos de dinámica y circuitos eléctricos que ya fueron ilustrados, presentamos evidencia adicional sobre óptica geométrica y cinematográfica.

4.1. Incapacidad para relacionar el formalismo algebraico con el mundo real.

Para un Físico, cada símbolo en una ecuación representa una entidad bien definida. Aún en simples representaciones de sistemas mecánicos los estudiantes tienen dificultad en establecer una correspondencia entre el formalismo y el mundo real.

Fallas en relacionar el teorema impulso-cantidad de movimiento y el teorema trabajo-energía, con un movimiento real.

La demostración usada para las tareas de comparación de los teoremas impulso-cantidad de movimiento y trabajo-energía provee un conjunto particularmente simple de circunstancias en las cuales estas relaciones podrían aplicarse fácilmente. No fue difícil para los estudiantes hacer las observaciones necesarias. Si ellos no notaban que el desplazamiento y la fuerza aplicada eran los mismos para ambos cilindros, el investigador dirigía la atención de los estudiantes a esas características de la demostración. La diferencia en masa, velocidad y tiempo de tránsito entre las líneas paralelas eran tan pronunciadas como para ser virtualmente obvias para cualquier observador que reconociera que estas diferencias eran significativas. A pesar de todo, pocos estudiantes

fueron capaces de interpretar por cuenta propia, el movimiento de los cilindros en términos de los conceptos dinámicos relevantes. Aún con ayuda considerable muchos no tuvieron éxito en relacionar el formalismo algebraico aprendido en clase, al simple movimiento que ellos observaron.

Falla en relacionar la Ley de Ohm y las fórmulas de resistencia equivalente y de potencia con un circuito real.

El tema de circuitos eléctricos provee muchos ejemplos de dificultades de los estudiantes con la interpretación de las representaciones formales. Como en el anterior ejemplo de dinámica, los estudiantes que respondieron a las preguntas basadas en la Fig. 2 con frecuencia no pudieron relacionar la ley de Ohm o el concepto de resistencia equivalente con los elementos en un circuito real.

Fallas en reconocer la relación entre la distancia objeto y la distancia imagen implicadas en la fórmula para lentes delgadas.

Una investigación de la comprensión de los estudiantes en óptica geométrica reveló la presencia de varias dificultades con las representaciones.(6)

Si bien los estudiantes tienen poca dificultad en aplicar la ecuación de las lentes delgadas para resolver un problema estándar de los textos, nosotros encontramos que ellos a menudo fallan en conectar el formalismo con un sistema óptico simple: para ubicar este ejemplo en un contexto adecuado, brevemente describiremos las características relevantes de la investigación.

Participaron como voluntarios aproximadamente 80 estudiantes de los cursos introductorios basados en álgebra y de los cursos basados en cálculo. La mayoría tenía notas en cálculo por encima del nivel promedio. El examen de los datos indicó que varios factores no hacían una diferencia significativa en la performance de los estudiantes: el haber completado un curso de Física en la escuela secundaria; el estar inscriptos en

cursos de Física basados en álgebra versus cursos de Física basados en cálculo; la participación en el curso de laboratorio asociado; y la identidad del docente. El único factor que hacía la mayor diferencia fue si el estudiante había completado o no la parte de óptica del curso de Física universitario. Nosotros decidimos entonces analizar los datos en términos de un grupo con preinstrucción y otro con postinstrucción. Designamos a los primeros pre-estudiantes y a los últimos como post-estudiantes.

El sistema óptico usado en este estudio consistió en un objeto real, una lente convergente y una pantalla. Durante las demostraciones individuales en entrevistas, se preguntó a los estudiantes qué cambios ocurrirían si el sistema óptico se alterara en ciertas formas específicas. (Ver Fig.5)

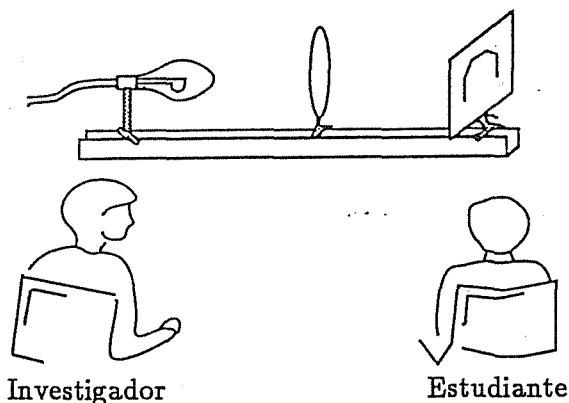


Figura 5: Demostración para la entrevista sobre problemas con lentes convergentes. El investigador le pregunta a los estudiantes que cambios ocurrirían si el sistema fuese alterado en ciertas maneras específicas.

En una de las tareas propuestas a los estudiantes el investigador realizó las siguientes preguntas: "Suponga que yo moviera la pantalla hacia la lente ¿Cambiaría algo en la pantalla?" Una respuesta aceptable sería que, cuando la posición de la pantalla comienza a cambiar, la imagen se vuelve borrosa y rápidamente desaparece por entero. Excepto cuando la pantalla está en la proximidad de la posición de la imagen, todo lo que puede verse sobre la pantalla

es una luz difusa, de superficie y de forma variables. Solamente un 40% de los post-estudiantes dió una respuesta correcta. Alrededor del 45% dijo que, mientras la pantalla se acercaba a la lente, la imagen permanecería clara pero variaría su tamaño. Alrededor de un 15% pensó que se invertiría. Algunos estudiantes indicaron que una imagen clara aparecería sobre la pantalla en cualquier posición que ésta fuese ubicada.

Nosotros sabíamos, a raíz de pruebas exploratorias de laboratorio, que virtualmente casi todos los post-estudiantes podían usar la fórmula de las lentes delgadas para encontrar la imagen formada por una lente convergente. Sin embargo, cuando se enfrentaron con una situación real en el laboratorio, estos estudiantes no parecieron advertir que la ecuación implica una correspondencia uno a uno entre la distancia objeto y la distancia imagen. Para una posición dada el objeto la posición dada de la imagen determinada unívocamente.

4.2. Incapacidad para relacionar una representación diagramática con el mundo real.

En la investigación descrita anteriormente, cuatro tareas fueron propuestas a los estudiantes. En las respuestas a las preguntas asociadas a las distintas tareas, se alentó a los estudiantes a dibujar diagramas de rayos.

- Fracasos en reconocer que un diagrama de rayos es un algoritmo para localizar una imagen; no un dibujo de la realidad.

En una de las tareas con lentes, el investigador sostuvo un pedazo de cartón (opaco) por encima de la lente, y preguntó lo siguiente: "Supongamos que yo bajo este cartón hasta que cubre la mitad superior de la lente, dejando la parte inferior descubierta ¿cambiaría algo en la pantalla?" En este caso la imagen permanece entera y sólo disminuye su brillo. Dado que la luz parte en todas direcciones desde cada

punto del objeto, la luz proveniente de cada punto del objeto pasa a través de cada parte de la lente. Por lo tanto cualquier porción sería suficiente para formar una imagen completa. Cubrir una parte de la lente sólo disminuye la cantidad de luz que parte desde el objeto y es enfocada por la lente.

Sólo alrededor de un 35% de los post-estudiantes dió una respuesta correcta. La mayoría de los post-estudiantes que respondieron incorrectamente parecían estar convencidos de que algo tendría que ocurrir si se cubría la mitad de la lente. La respuesta inmediata más común dada por un 55% de estos estudiantes, parecía basarse en la creencia de que la mitad de la imagen desaparecería. Casi todos los pre-estudiantes también parecían pensar que media lente significaría media imagen. Algunos indicaron que pensaban que la mitad de la imagen que desaparecería dependería de que se cubriera la mitad superior por delante o la mitad superior por detrás de la lente.

Los diagramas de rayos producidos por muchos de los estudiantes reforzaron su intuición de que la mitad de la imagen desaparecería. En el diagrama de la Fig. 6, los estudiantes localizaron la imagen dibujando los dos rayos principales desde el tope del objeto: uno paralelo al eje principal, se refracta a través del foco; el otro, a través del centro de la lente, no se desvía. A partir de este diagrama, esencialmente correcto, el estudiante concluye que los dos rayos serían bloqueados si la parte superior de la lente fuese cubierta. En consecuencia, la mitad inferior de la imagen se perdería. Estudiantes que dibujaron diagramas similares parecieron pensar que estos rayos eran necesarios para formar una imagen, no meramente suficientes. No parecieron advertir que un diagrama de rayos es esencialmente un algoritmo para localizar la posición de una imagen, no un dibujo de la realidad.

4.3. Incapacidad para relacionar gráficos de movimientos con el mundo real.

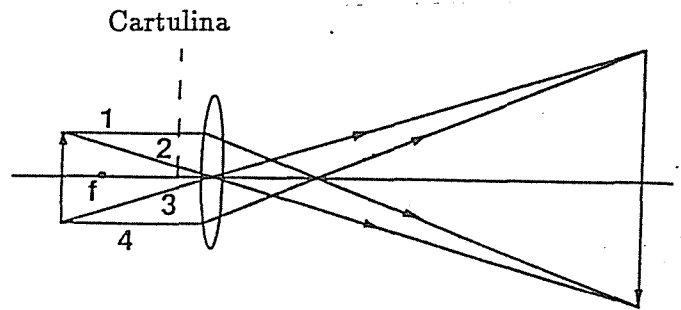


Figura 6: Diagramas de rayos dibujados por los estudiantes para justificar la predicción que la mitad de la imagen desaparecería si la mitad de la lente fuese cubierto.

Los estudiantes encontraron un número de dificultades específicas en relacionar los gráficos con los conceptos que ellos representan, con el mundo real (7). Más adelante, discutimos unas pocas de las más prevalentes en el contexto de un gráfico de la velocidad versus tiempo.

• Falla en reconocer el movimiento representado por una gráfico v vs t .

El gráfico v vs t mostrado en la Fig. 7, describe el movimiento de un objeto que estaba localizado en $x = 0$ cuando $t = 0$. Se pidió a los estudiantes que determinaran cuando el objeto estaría en $x = 110$ cm. Para responder a la pregunta, es necesario primero notar que el área de un cuadrado corresponde a un desplazamiento de 10 cm. Una inspección rápida del gráfico y una cuenta aproximada de cuadrados revela que el objeto pasa por $x = 110$ cm por primera vez en $t = 1,5$ s y alcanza un máximo desplazamiento en $t = 3,0$ s. Después invierte el sentido y pasa por $x = 110$ cm por segunda vez en el instante $t = 4,5$ s. Continúa moviéndose en sentido negativo hasta alcanzar $x = 0$ en $t = 7,0$ s. Otra vez invierte el sentido y se mueve en sentido positivo hasta que pasa por $x = 110$ cm, por tercera vez, en el instante $t = 9,3$ s.

Pocos estudiantes fueron inicialmente ca-

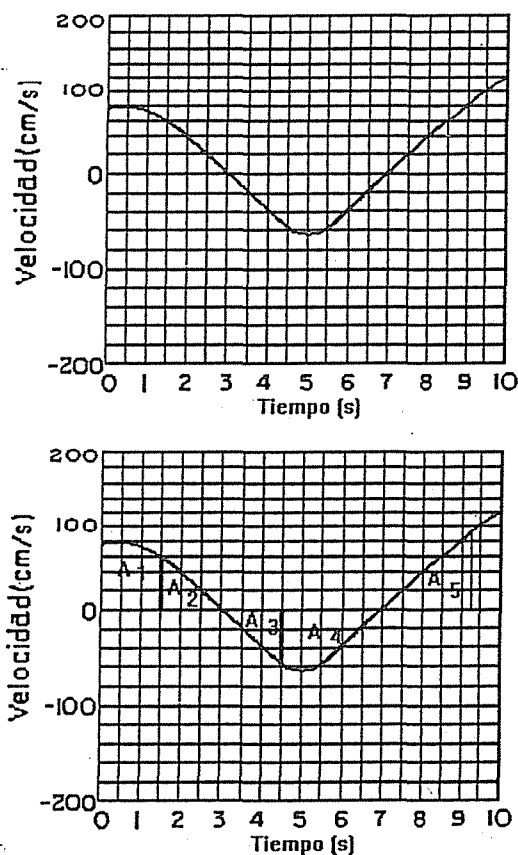


Figura 7:

paces de obtener una apreciación cualitativa del movimiento leyendo el gráfico. Sin la imagen de un movimiento oscilatorio, no comprendieron que necesitaban hallar más de un tiempo en que el objeto estaría localizado en $x = 110 \text{ cm}$.

El procedimiento de encontrar desplazamientos contando el número de cuadrados en un gráfico *velocidad vs tiempo*, requiere interpretar áreas como longitudes. Con frecuencia, los estudiantes encuentran difícil considerar una cantidad con unidades lineales. Ellos no advierten que las áreas alternadamente positivas y negativas por encima y por debajo del eje $v = 0$, representan alternadamente desplazamientos negativos y positivos. Por lo tanto no se forman una imagen mental de un objeto que oscila hacia adelante y hacia atrás.

Los estudiantes también tienen dificultad en relacionar otras características de un gráfico v vs t con el movimiento físico de un

objeto. Con frecuencia confunden la forma de un gráfico con la de la trayectoria. Por ejemplo, los estudiantes pueden dibujar con un gráfico v vs t de una pelota rodando por los tramos de un riel, que hace pensar en la trayectoria física de la pelota, en lugar de representar las variaciones de velocidad con el tiempo. Relacionada con esto está la dificultad que algunos estudiantes tienen en traducir un cambio en el sentido del movimiento de un objeto en una representación correcta sobre un gráfico de v vs t . En lugar de indicar en el gráfico la inversión de sentido, por una línea cruzando el eje t horizontal, los estudiantes suelen dibujar un gráfico que tiene una "V", con un vértice que intenta mostrar el instante de la vuelta.

En todos los tipos de gráficos de movimiento los estudiantes no saben de dónde extraer información: de la pendiente o de la altura del gráfico. Esta dificultad deviene más pronunciada, en gráficos de curvas donde los estudiantes deben interpretar, además, cambios en altura y cambios en pendientes. Además de dificultades en relacionar unos con otros los gráficos de un movimiento, con frecuencia tienen dificultades para relacionar gráficos de un tipo de movimiento con otro.

5. La enseñanza verbal es un modo de enseñanza ineficaz para la mayoría de los estudiantes. Los estudiantes deben estar activamente involucrados en el proceso de aprendizaje.

Todos los ejemplos de dificultades de los estudiantes que han sido presentadas en este trabajo, comparten una característica común: son tomadas de la performance de estudiantes en clases en las que la lección fue el principal modo de enseñanza. Otra característica que estos ejemplos tienen en común es que el tema involucrado no es difícil. La mayoría de los docentes de Física supondrían probablemente que los estudiantes, especialmente aquéllos en el nivel universitario, deberían ser capaces de responder correctamente a estos tipos de pregun-

tas cualitativas simples. En casi todos los casos, las tareas discutidas en este trabajo fueron propuestas a estudiantes que ya habían estudiado los temas en un curso introductorio tradicional de Física. Sus notas indicaban que estos estudiantes estaban entre los académicamente capaces de sus clases. Sin embargo, muchos no pudieron hacer el razonamiento básico que hubiese sido suficiente para dar una respuesta apropiada a los problemas cualitativos simples que se habían propuesto.

Nosotros encontramos que la performance de los estudiantes, en cierto tipo de problemas cualitativos, no varía mucho entre una clase enseñada tradicionalmente y otra (por lo menos en la misma institución). Ni parece tampoco importar, dentro de ciertos límites, a qué altura del curso tales problemas son propuestos. Como mencionamos antes, tenemos datos que sostienen la validez de estas dos afirmaciones a partir de los estudios basados en circuitos eléctricos y óptica geométrica.

Además, se ha mostrado en un número de circunstancias específicas que la calidad de la performance del estudiante no es afectada significativamente por la calidad del docente (8). Como también se mencionó antes, no hubo correlación entre los aciertos de estudiantes en las tareas de óptica geométrica y la buena o mala reputación como expositor del docente del curso.

Estos resultados, más los de otras investigaciones de nuestro grupo y de otros grupos también hacen razonable suponer que la performance en las tareas de los estudiantes que participaron en nuestros estudios no fue idiosincrática. Más bien creemos que resultados similares se obtendrán con otros estudiantes a quienes se les ha enseñado Física de una manera similar.

Las dificultades que los estudiantes tienen en Física no se deben, usualmente, a fallas del docente en presentar el material clara y correctamente, al menos cuando la presentación de la información es vista desde la perspectiva de un físico. Usualmente

lo que se enseña no está equivocado aunque ocasionalmente éste pueda ser el caso. No importa cuán clara sea la exposición ni cuán correcto el expositor, un aprendizaje significativo no tendrá lugar a menos que los estudiantes estén intelectualmente activos. Aquellos estudiantes que sí aprenden con éxito de las exposiciones del docente, de libros de texto y de las tareas de resolución de problemas asignadas lo logran porque ellos constantemente cuestionan su propia comprensión enfrentan sus dificultades y persisten tratando de resolverlas. La mayoría de los estudiantes en un curso introductorio de Física no aporta este grado de independencia intelectual a su estudio del tema. En cambio ellos confían en la memorización y en la manipulación de fórmulas.

6. Conclusión

Tal vez el efecto más significativo que investigar en Educación en la Física ha producido en los físicos que trabajan en esta área, ha sido enfatizar en nosotros la necesidad de fijar mayor atención en el estudiante. La epistemología constructivista provee una base teórica para el enfoque. En términos no técnicos, podemos resumir brevemente la visión constructivista de cómo se adquiere el conocimiento científico de la siguiente manera: todas las personas deben construir sus propios conceptos; y el conocimiento que ellos ya tienen (o piensan que tienen) afecta significativamente lo que pueden aprender. El estudiante no es visto como un recipiente de conocimiento pasivo sino más bien como un participante activo en su creación. La mente del estudiante no es un papel en blanco sobre el cual se puede escribir información nueva sin considerar lo que ya está allí. Si el docente no hace un esfuerzo consciente para guiar al estudiante en hacer las modificaciones necesarias para incorporar correctamente la nueva información, el estudiante puede hacer el reordenamiento para encajar lo que ya tiene en ese papel en blanco.

Un aprendizaje significativo que connote la habilidad para interpretar y usar un conocimiento en situaciones distintas a aquéllas en las que fue adquirido inicialmente requiere un compromiso mental profundo por parte del estudiante. Para desarrollar una comprensión funcional de la Física que les es enseñada los estudiantes deben pasar de una participación pasiva a una participación activa en el proceso de aprendizaje.

6.1. Aplicación de la investigación al desarrollo del currículum.

Además de la investigación sobre enseñanza y aprendizaje de la Física, el Grupo de Educación en la Física está involucrado en aplicar los resultados de esta investigación al desarrollo de un currículum. Estamos produciendo dos tipos de material de enseñanza: un conjunto de módulos de enseñanza basados en el laboratorio, principalmente destinado a la preparación de docentes secundarios y un conjunto de materiales guía para ser usados conjuntamente con las clases y textos en un curso estándar de introducción a la Física (9, 10). Reconociendo tanto las limitaciones como la necesidad de enseñar la mayoría de los cursos de Física mediante lecciones, nosotros estamos esforzándonos en diseñar materiales suplementarios que promuevan la participación intelectual de los estudiantes.

6.1.1. Desarrollo de material impreso.

Tal como fue implementado por nuestro grupo, el proceso de usar la investigación para guiar el desarrollo de un currículum tiene tres partes: (1) Realización de investigaciones sistemáticas de la comprensión del estudiante; (2) Aplicación de los resultados al desarrollo de estrategias de enseñanza para tratar dificultades específicas; y (3) Diseñar, probar, modificar y revisar nuestros materiales de enseñanza en un ciclo continuo, sobre la base de experiencias en clase con la población muestra. Consideramos la investigación, el desarrollo del currículum y la enseñanza, como componentes interdependientes de un proceso con-

tinuo interactivo e iterativo.

6.1.2. Desarrollo de materiales de computación

La computadora ofrece la posibilidad, sola o en conjunción con otros dispositivos tales como un video disco o una herramienta de laboratorio basada en microcomputación, de enseñar Física en nuevas formas. Es posible que este nuevo recurso nos permita individualizar la enseñanza en cursos numerosos. Simulaciones en computadora pueden ayudar a los estudiantes a profundizar su comprensión de características fundamentalmente importante de los conceptos, que no son visualizados con facilidad. El uso de gráficos por computadora para mostrar los resultados de cálculos estadísticas complejos puede proveer visiones profundas que no habrían sido posibles sin esta herramienta.

Sin embargo, aún un programa altamente interactivo no garantiza que los estudiantes estén involucrados en un grado suficientemente profundo como para que ocurra el desarrollo significativo de un concepto. El éxito en una tarea de computación no necesariamente indica que el estudiante ha desarrollado una habilidad que pueda ser transferida a otro entorno. A menos que los estudiantes puedan articular el razonamiento resultante de las manipulaciones hechas con el "mouse", o las respuestas escritas en un teclado, es difícil determinar si ha tenido lugar algún aprendizaje significativo. Para ser capaces de advertir el potencial completo de la nueva tecnología, es necesario un continuo monitoreo del progreso intelectual de los estudiantes durante todo el proceso del desarrollo del programa.

6.2. La necesidad de investigar sobre enseñanza - aprendizaje de tópicos de Física Moderna.

La generalización es sobre aprendizaje vs enseñanza que se han presentado en este trabajo se basan en datos reunidos durante muchos años. Hay una necesidad de estudios similares de Física Moderna. Este

esfuerzo debería pensarse como incluyendo no sólo la identificación de las dificultades del estudiante, sino también el desarrollo de estrategias de enseñanza para tratarlas. Una muy cuidadosa verificación debería realizarse tanto del diseño de material de enseñanza como del análisis de las dificultades del estudiante. Es imperativo que esta investigación sea conducida por físicos que han pensado profundamente sobre los temas en cuestión, que han tenido experiencia en enseñar este material y que están dispuestos a tener presentes a los estudiantes: a escuchar, más bien que a explicar.

Independientemente de cuánto tiempo y atención se empleen en el desarrollo de un curriculum, hay una necesidad urgente de tener en cuenta cómo aprenden los estudiantes en contraposición a cómo nosotros pensamos que ellos aprenden. A menos que hagamos esta distinción, y tratemos de ensamblar cómo enseñamos y cómo aprenden los estudiantes, nuestros esfuerzos para incorporar Física Moderna al programa producirá poco de valor intelectual o motivacional. La tarea de aplicar visiones profundas obtenidas del aprendizaje de los estudiantes en Física Clásica a la enseñanza de la Física Estadística se deja planteada como un desafío a los participantes de esta conferencia.

Referencias Bibliográficas

- MCDERMOTT, L. C. "Lo que enseñamos y lo que se aprende - Cerrando la brecha", Am. J. Phys. 59, 301 - 315 (1991).
- LAWSON, R. A. Ph. D. tesis, Departamento de Física, Universidad de Washington, 1984 (no publicada).
- ARONS, A. B. "Una guía en la Enseñanza de Introducción a la Física" (Wiley, New York, 1990). Contiene una discusión de las dificultades que tienen los estudiantes para interpretar el símbolo " $=$ ".
- MCDERMOTT, L. C. y SHAFFER, P. S., "La investigación como una guía para el desarrollo de un curriculum: un ejemplo en Introducción a la Electricidad, Parte I: Investigación de la comprensión estudiantil", Am. J. Phys. 60, (1992) y P. S. Shaffer y L. C. McDermott, "La investigación como guía para el desarrollo de un curriculum: un ejemplo en Introducción a la Electricidad, Parte II: Diseño de Estrategias instruccionales", Am. J. Phys. 60. (1992).
- GOLDBERG F. M. y MCDERMOTT, L. C., "Una investigación de la comprensión estudiantil de la imagen real formada por una lente convergente o espejo cóncavo", Am. J. Phys. 55, 108-109 (1987).
- MCDERMOTT, L. C., ROSENQUIST, M. L. y VAN ZEE, E. H., "Dificultades de los estudiantes en conectar gráficos y Física: Ejemplos en Cinemática", Am. J. Phys. 55, 503 - 513 (1987).
- HALLOUN, I. A. y HESTENES, D., "El estado de conocimiento inicial de los estudiantes del "college"", Am. J. Phys. 53, 1043 - 10055 (1985); Otra evidencia que sustenta estas afirmaciones puede encontrarse en el segundo artículo in Ref. 3 y Ref. 4.
- THORTON, R. K. y SOKOLOFF, D. R., "Aprendiendo el concepto de movimiento usando herramientas basadas en real time microcomputadoras". Am. J. Phys. 58, 858 - 870 (1990);
- HESTENES, D., WELLS, M. y SWACKHAMER, G., "Inventario de conceptos de fuerza", Phys. Teach. 30, 141 - 158 (1992);
- MAZUR, E., "Pensamiento cualitativo vs pensamiento cuantitativo: Estamos enseñando lo correcto?" "Novedades en Optica y Fotónica", 2, 38 (1992).
- MCDERMOTT, L. C. et al., Physics by Inquiry (Grupo de Educación en la Física, Universidad de Washington, Seattle, Wa, 1982 - 1992), (en prensa).
- MCDERMOTT L. C., et. al., "Guías en Física", (Grupo de Educación en la Física, Universidad de Washington, Seattle, WA, (1991 - 1992). Este es el título tentativo de un conjunto de Guías actualmente en desarrollo.

Nota de los Editores

La primera parte de este artículo fue publicado en el número anterior.