

## EL COMPUTADOR EN EL LABORATORIO DE FISICA: UNA ALTERNATIVA PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA EN EL BACHILLERATO

Hernán Escobedo David

---

### RESUMEN

La alternativa para la enseñanza de la física que se ofrece aquí hace parte de un trabajo de investigación que se desarrolla en el Colegio Santa Francisca Romana, de Bogotá. Consideramos importante exponer algunos elementos básicos que sustentan este trabajo de investigación, con el fin de mostrar la forma como el computador hace parte de una respuesta a una necesidad pedagógica planteada dentro del contexto de una filosofía educativa. Se muestra cómo el computador permite dedicarle más tiempo a cada uno de los alumnos, y, lo que es más importante, que gracias al computador la utilización de este tiempo puede optimizarse. Se ilustra también el computador en el laboratorio de física permite someter a contraste las teorías del estudiante en una forma adecuada y sencilla.

### INTRODUCCION

En alguna ocasión vi un aviso publicitario en el que se leía "Ya compré mi computador. ¿Ahora qué hago?" Esa pregunta me pareció que podía resumir adecuadamente y en pocas palabras lo que ha sido la historia de la informática en la educación secundaria en nuestro país. La compra de un computador en un colegio pocas veces responde a una necesidad específica de tipo pedagógico. Por lo general responde más bien a una necesidad de prestigio, de no quedarse atrás de los demás, de "estar al día". Esta necesidad se siente dentro de las instituciones educativas como consecuencia de diferentes tipos de presiones que provienen de las asociaciones de padres de familia, de los vendedores de equipos o de convencimientos que suelen expresarse en frases contundentes como la siguiente: "quien no sea capaz de manejar un computador será en pocos años el nuevo analfabeta". Después de ceder ante estas presiones, se adquieren los equipos; surge entonces el problema de establecer en qué forma se van a utilizar.

Este problema, claramente inevitable, no es fácil de resolver. Y el costo de no resolverlo es muy alto: el desencanto de quienes tenían fe en que los computadores mejorarán la calidad de la educación (de la cual se dice, en general, que es muy baja), el lucro cesante, el desprestigio de la institución ante la sociedad y particularmente, ante las asociaciones de padres (que por lo general han aportado recursos económicos para la compra de los equipos), el desencanto de los estudiantes mismos quienes se encontraban a la expectativa de encontrar en el computador experiencias interesantes. Todos estos costos se ven

---

El computador en el laboratorio de física: una alternativa para la enseñanza de la Física en el bachillerato

agrandados por una propiedad bastante peculiar de estas máquinas: el tiempo en el que un computador puede volverse obsoleto es muy corto.

La primera reacción de las instituciones educativas es la de instituir un nuevo curso: el de "Informática" o "Computadores" en el que se enseña a programar en algún lenguaje (el LOGO y el BASIC son los más populares) y a usar procesadores de texto, bases de datos y hojas electrónicas. Con esta "institucionalización" del computador se hacen caer sobre él todos los vicios de la educación tradicional y los efectos no se hacen esperar: al alumno le aburre la clase de computadores tanto como la de matemáticas o la de gramática, "estudia" computadores para pasar en los exámenes bimestrales y, lo que es más preocupante, pocas veces lo que se aprende en clase de computadores tiene alguna utilidad para la vida del estudiante. En pocas palabras, podría decirse que los computadores en la escuela se transforman en una materia como cualquier otra, que se añade al currículo, como tantas otras. Tal vez se cumple aquí aquello que el profesor Vasco [1] señalaba en una ocasión y que puede ser expresado de la siguiente manera: "El profesor aplana el mundo en un tablero de dos colores." Un mundo tridimensional y multicolor se transforma en un mundo de dos dimensiones y dos colores.

Pero, desafortunadamente, esta no es la primera vez que la educación se encuentra en este tipo de problemas. La televisión, los proyectores de diapositivas, los retroproyectores, el betamax, la radio, y hasta el fonógrafo, tristemente plantearon problemas similares a los rectores de colegio: después de que se adquirían estos equipos como instrumentos de apoyo surgía el interrogante de cómo utilizarlos. Para muchos de ellos esa pregunta no se respondió y estas ayudas que se adquirieron a un gran costo, reposan ahora en algún anaquel del colegio o simplemente desaparecieron.

Si se hiciera un análisis cuidadoso de todos estos intentos de la educación por integrar los nuevos productos tecnológicos, tal vez sería evidente que en todos ellos se encuentra un elemento común: el intento de utilizar un nuevo medio no responde a una necesidad educativa, concebida y tematizada dentro del contexto de una filosofía educativa y vinculada con una teoría pedagógica. Los nuevos medios se conciben como instrumentos que, por su naturaleza misma, resolverán los problemas de la educación, sin que se sepa siquiera, en ocasiones, cuáles son esos "problemas de la educación".

El presente trabajo tiene como fin primordial ofrecer una alternativa de uso del computador dentro del laboratorio de física, que constituye realmente una respuesta a una necesidad de tipo educativo. Esa necesidad podríamos formularla diciendo que el proceso de enseñanza debe respetar la forma como el ser humano, por la naturaleza de su pensamiento, accede al conocimiento. Aristóteles distinguía entre la forma como el ser humano accede al conocimiento y la forma como él expone este conocimiento. Tradicionalmente los métodos de enseñanza reproducen la exposición del conocimiento bajo el supuesto de que el estudiante aprehende el conocimiento en esa exposición clara y sistemática (para el profesor). La forma como daremos respuesta a la necesidad que hemos planteado, la podemos expresar diciendo que el método de enseñanza reproducirá la forma como el ser humano

accede al conocimiento.

## LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

En general, la enseñanza de la física tiene como objetivo lograr que el estudiante conozca un determinado conjunto de hechos y posea una explicación de ellos a la luz de una teoría "terminada". Esta explicación, como todas las explicaciones en la ciencia, suponen ver el fenómeno explicado como un caso particular de una ley general. La ley, si es una ley verificada, nos debe permitir el control y la predicción de los fenómenos explicados. Los "problemas de física", que se encuentran consignados en los muchísimos manuales, son expresiones particulares de esta posibilidad de hacer predicción y control de los fenómenos físicos. Tomemos el siguiente ejemplo que bien puede aparecer en cualquier manual de física para décimo grado:

Una masa de 2Kg cuelga de un dinamómetro (calibrado en Newtons) sujeto al techo de un ascensor. 1) ¿Qué lectura ofrecerá el dinamómetro en las siguientes circunstancias: a) Cuando el ascensor se mueve hacia arriba con velocidad constante de 30m/s? b) Cuando el ascensor desciende con velocidad constante de 30m/s? c) Cuando el ascensor va hacia arriba con una aceleración de 10m/s<sup>2</sup>? 2) De t=0 a t=2s el ascensor se mueve hacia arriba a 10m/s. Su velocidad se reduce uniformemente a cero en los siguientes dos segundos, de modo que queda en reposo cuando t=4s. Describir la lectura del dinamómetro durante el tiempo transcurrido entre t=0s y t=4s.

En este ejercicio se pretende establecer si el estudiante es capaz de predecir correctamente, en la situación descrita, y en los diferentes momentos, cuál será el peso aparente de la masa suspendida del techo del ascensor.

Consideremos ahora el siguiente problema, que, como el anterior, puede también aparecer en cualquier manual de física para décimo grado:

Un piloto de carreras desea escoger llantas para su automóvil con el fin de lograr una fricción adecuada con el pavimento. Correrá en una pista en la que encontrará una curva sin peralte que tiene un radio de curvatura de 100m. El desea poder lograr una velocidad, para esta curva, de 120Km/h. ¿Cuál debe ser la fuerza de fricción mínima que la pista debe ejercer sobre su automóvil, si sabemos que éste pesa 2000Kg?

En este ejercicio, lo que se pretende establecer es si el estudiante algún día se encontrara en esta situación (evento de muy baja probabilidad), podría ejercer un control sobre su medio ambiente. En otras palabras, si es capaz de tomar ciertas decisiones (comprar un tipo de llantas) para lograr ciertos objetivos (desarrollar una velocidad de 120Km/h).

Tanto la teoría como el uso de las deducciones lógico-matemáticas, han sido construídas por el hombre a lo largo de su historia gracias a su enfrentamiento con los problemas reales

---

El computador en el laboratorio de física: una alternativa para la enseñanza de la Física en el bachillerato

que su entorno le plantea. Los diversos intentos de solucionarlos, y, sobre todo, las enseñanzas que le dejaron los errores cometidos, son los elementos fundamentales sobre los cuales actuó su pensamiento creativo para ingeniar nuevas leyes que le permitan controlar y predecir los fenómenos sobre los que está interesado.

Pero en la enseñanza se actúa de una forma muy diferente a la que hemos descrito como propia del desarrollo científico. Al estudiante se le presentan problemas ya contruidos que deben ser resueltos sirviéndose de teorías ya terminadas. Tanto las teorías como los problemas son impuestos por el profesor. Esto causa diversos problemas que obligan al estudiante, en el mejor de los casos, a "aprenderse" la física como un sistema rígido dentro del cual no hay lugar para las ideas nuevas. En el común de los casos, lo que sucede es que el estudiante ve esta ciencia como una jerigonza en la que hay que adivinar cuál es la fórmula matemática que es necesario utilizar para obtener una buena nota en el examen.

Tratar de escapar a esta forma de actuar implica adoptar procedimientos didácticos que plantean serios problemas prácticos. El computador, como veremos, nos provee buenas formas de resolver estos problemas.

### **Esquemas pre-conceptuales sobre el mundo físico**

Los procedimientos didácticos que debemos adoptar podrían ser descritos adecuadamente en los términos concebidos por el profesor Federici [1]: se trata de llevar a cabo una sustitución de lenguaje. En efecto, de lo que se trata es que el alumno abandone su lenguaje defectuoso referente a los fenómenos físicos, y adopte el del profesor, que es menos defectuoso. Esta sustitución debe llevarse a cabo dentro de una comunicación honesta y permanente entre el estudiante y el profesor, en el que solamente las buenas razones prevalecen.

Pero para establecer esta comunicación un primer elemento importante es el de entender los argumentos de los estudiantes. Un error que el profesor comete muy a menudo, si no siempre, es el de creer que el alumno no tiene sus propias teorías acerca de los fenómenos que él le va a mostrar en el laboratorio y que posteriormente le va a explicar de acuerdo con sus propias teorías. Pero el estudiante va ya con una "teoría" bastante desarrollada que contiene varias "leyes". Algunas de estas "leyes" han sido descritas por varios autores y en el contexto de la investigación a la cual hacíamos referencia hemos establecido otras.

Estas "teorías" y "leyes" han sido denominadas en diferentes contextos como "Preconceptos" o "Esquemas Pre conceptuales" El primero de ellos que citaremos, Driver [2] lo ha denominado "El uso de sistemas de referencia absolutos". El físico define el movimiento siempre con respecto a un sistema de referencia. Dependiendo del sistema, un mismo objeto puede encontrarse en reposo o en movimiento. Los estudiantes tienden a considerar que el reposo y el movimiento son dos estados cualitativamente diferentes. En la terminología piagetiana podría interpretarse esta tendencia como un efecto de una falta de "descentración". El estudiante permanece centrado en el punto de vista que cotidianamente

es más común: tomar como sistema de referencia el suelo. Al centrarse en ese único punto de vista, el sistema de referencia utilizado en él se absolutiza. La ley del estudiante podría entonces formularse diciendo: "Existe un solo sistema de referencia que es absoluto y está dado por la tierra". Si existe un sistema de referencia absoluto, es lógico pensar que el movimiento y el reposo son dos estados substancialmente diferentes.

El segundo esquema conceptual que Driver reporta está expresado de la siguiente manera: "El movimiento implica una fuerza". Existe en los estudiantes la creencia de que si un cuerpo está en movimiento debe existir una fuerza con la misma dirección y sentido del movimiento que lo explica. Algunos de ellos llegan a pensar que si se trata de un movimiento que describe una curva, existe una "fuerza curva" que explica este movimiento. La ley del estudiante podría formularse de la forma siguiente: "Un cuerpo se mueve si, y sólo si, existe una fuerza que actúe sobre él. La forma del movimiento reproduce la forma de la fuerza; si la fuerza es rectilínea, el movimiento será rectilíneo; si la fuerza es curva, el movimiento será curvo." De esta ley se deriva la "hipótesis" de que los objetos en movimiento son "empujados" permanentemente por un "impulso"; cuando este se "gasta" el objeto deja de moverse y vuelve a su estado inicial de reposo. En otras palabras, se piensa que cuando un objeto es empujado, la fuerza que se le "comunicó" permanece hasta que se "gasta de tanto mover el objeto".

El tercer esquema señalado por Driver establece que: "La fuerza varía con la rapidez del movimiento". Este esquema era formulado de una forma más directa por algún estudiante que estudiaba el movimiento de varios objetos. El decía: "Las velocidades son diferentes, luego las fuerzas lo serán también".

El cuarto esquema lo formula Driver así: "El movimiento tiene lugar en la dirección de la fuerza aplicada". Este esquema es equivalente al desconocimiento de la cantidad de movimiento con la que inicialmente un cuerpo puede contar. Si se plantea una situación en la que un cuerpo que está ya en movimiento debe ser dirigido a un determinado punto, los estudiantes aplican una fuerza en la dirección del punto deseado sin preocuparse por el movimiento que el cuerpo ya llevaba.

El quinto esquema establece que "Un objeto en reposo no puede ejercer fuerza". La existencia de esta idea se puede establecer de forma muy clara cuando se analiza la respuesta que un alumno le daba a otro en una discusión acerca de las fuerzas que actuaban sobre un objeto que colgaba de un soporte y se encontraba en reposo. Cuando uno de ellos argumentaba que el soporte ejercía una determinada fuerza sobre el objeto, su compañero le respondía: "¿Cómo puede el soporte levantar algo? ¡No está vivo!" El razonamiento de este alumno podríamos analizarlo de la siguiente manera: El soporte no está vivo. Si no está vivo, no se puede mover. Si no se puede mover no puede ejercer ninguna fuerza.

El sexto y último esquema reportado por Driver se refiere a la naturaleza de la fuerza de la gravedad. Este esquema debe ser formulado en tres afirmaciones. La primera sería: "La fuerza de la gravedad es proporcional a la altura en que se encuentre el objeto sobre el cual

ésta actúa". Un estudiante defendía esta idea diciendo: "Si se deja caer una moneda desde muy alto la fuerza de gravedad es tal que si golpea a alguien en la cabeza lo puede matar; si se la deja caer de un sitio bajo no va a pasar nada."

La segunda afirmación sería: "Cuanto más pesado sea un cuerpo, más rápido cae." Galileo intentó mostrar lo absurdo de esta creencia hace ya unos siglos. Hoy en día es todavía difícil convencer a alumnos universitarios de que se trata de una afirmación falsa.

La tercera afirmación podría formularse así: "La gravedad necesita de un medio para poder actuar sobre los cuerpos." Se piensa que la gravedad no puede actuar en el vacío.

En el contexto de nuestra investigación hemos podido establecer otras "leyes" en función de las cuales los estudiantes piensan sobre el mundo físico. La primera de ellas podríamos formularla diciendo lo siguiente: "Existen dos formas cualitativamente diferentes de ejercer una fuerza sobre un objeto; una es halarlo y la otra es empujarlo." Algunas niñas en una discusión en la que sostenían que dos experimentos, uno en el que se colgaba del techo de un ascensor un dinamómetro y otro en el que se ponía una balanza de resorte en el piso de ese ascensor, no eran equivalentes, decían: "es que una cosa es halar y otra empujar".

Otra "ley" que hemos establecido puede ser formulada de la siguiente manera: "La fuerza necesaria para mover un cuerpo es proporcional a la masa del cuerpo". Una estudiante se resistía a aceptar que en ausencia de toda fuerza de rozamiento o de cualquier otra naturaleza que se opusiera al movimiento de un cuerpo de una cierta masa, una fuerza, por muy pequeña que esta sea moverá este cuerpo imprimiéndole una cierta aceleración cuya magnitud será muy pequeña. Ella decía: "Lo que tú dices es que si por ejemplo yo me pongo unos patines que eliminen el rozamiento, ¿mi gata es capaz de arrastrarme? ¡Imposible!" Se ignora lo que establece la segunda ley de Newton a pesar de que saben de memoria la ecuación que la formula.

Existen muchos otros ejemplos como los anteriores. Sin embargo el extendernos todavía más en ellos nos puede alejar demasiado de nuestro tema.

Para enseñar la física de una forma que respete la forma como el ser humano construye conocimiento, y, lo que es algo urgente (tal vez no importante), dentro del tiempo del que normalmente se dispone para enseñarla, se necesita dedicarle mucho tiempo a cada estudiante y planear muchos experimentos en los que las teorías o esquemas pre conceptuales que el estudiante posee al ingresar a los cursos de física, se vean refutados.

En el presente trabajo mostraremos cómo el computador permite dedicarle más tiempo a cada uno de los alumnos, y, lo que es más importante, que gracias al computador la utilización de este tiempo puede optimizarse. Mostraremos también el computador en el laboratorio de física permite someter a contraste las teorías del estudiante en una forma adecuada y sencilla.

## **EL COMPUTADOR EN EL LABORATORIO DE FISICA**

Tal vez los enemigos más poderosos de una buena enseñanza de la física sean el elevado número de alumnos por curso y el escaso tiempo del que se dispone para cumplir con los programas oficiales.

En un primer momento se puede pensar que para atacar al primer enemigo existen dos alternativas igualmente problemáticas. La primera sería aumentar el número de profesores lo cual aumenta los costos; la segunda consiste en dividir los cursos, lo cual hace que el tiempo necesario para desarrollar un determinado tema aumente, fortificando así al segundo enemigo. Ahora bien, después de intentar, durante un par de meses, desarrollar el curso con 40 estudiantes, se estableció claramente que es imposible dedicar el tiempo necesario a cada uno de los alumnos.

Se optó entonces la segunda solución: se dividió el grupo en dos, corriendo el riesgo de verse vencidos por el segundo enemigo. Mientras uno de los grupos se encuentra en el laboratorio experimentando y discutiendo posibles explicaciones, el otro, que ya ha pasado por el laboratorio, se encuentra trabajando sobre guías de trabajo en las cuales se puede reflexionar acerca de lo que se hizo en el laboratorio.

Estas guías son escritas de una forma tal que toquen los temas debatidos durante la sesión del laboratorio. Lo anterior le da a las guías de trabajo un carácter que podríamos llamar muy "personalizado". No es raro encontrar referencias a "la conjetura formulada por Marcela", o "la ley establecida por María" (que puede ser la misma "segunda ley de Newton"). Incluso se dan casos en que la guía se escribe para aclarar un concepto que no fue entendido por la mayoría del curso. El mismo método se utiliza para la corrección de exámenes. Cada examen tiene una guía de trabajo donde se discuten los errores cometidos y se proveen ejercicios adicionales que les permite a los estudiantes profundizar acerca de los conceptos "problemáticos".

### **Uso de herramientas de productividad**

Este enfoque exige que el profesor tenga la posibilidad de escribir o de hacer cambios a la guía de un día para otro. Esto es absolutamente imposible si no se cuenta con un computador provisto de un muy buen procesador de texto que permita la inclusión de textos dentro de un escrito, de gráficas, esquemas y dibujos.

Nótese que un procesador de texto de estas características, una herramienta de productividad, puede ser catalogado, con buenas razones, como "software educativo". Creemos que el software puede ser llamado "educativo" no tanto por la forma como fue construido, sino por la forma como es utilizado.

Los resultados hasta el momento son alentadores: a pesar de que los grupos se dividieron en dos, el tiempo no se duplicó como podría esperarse. Algunas alumnas, en el momento de la

evaluación del curso, opinaban que de esta forma se ahorra mucho tiempo, pues el profesor no tiene que estar llamando la atención a las alumnas que no atienden.

En estas circunstancias, no solamente podemos decir que el computador permite mayor interacción con los alumnos y hasta cierto punto economizar tiempo, sino, lo que es mucho más importante, los alumnos tienen la oportunidad de tener una interacción de mucho mejor calidad con el profesor, puesto que se utiliza un medio más evolucionado desde el punto de vista construcción de la ciencia: la escritura. En efecto, al trabajar sobre las guías que el profesor escribe sobre los temas que se han debatido durante la sesión de laboratorio y al escribir informes sobre estos talleres, el estudiante está aprendiendo a utilizar el medio escrito para entablar un diálogo científico acerca de problemas del mundo físico que él ha tenido la oportunidad de experimentar en forma directa.

Es interesante señalar que el profesor consciente de la necesidad de superar los métodos expositivos para la enseñanza de la física encuentra en el computador (provisto de herramientas de productividad tales como un buen procesador de texto y una hoja electrónica y acompañado de un scanner y una buena impresora) un aliado extraordinario para producir los textos ideales para la forma como él enfoca su curso y la forma como sus estudiantes trabajan y aprenden. Además de los textos puede producir otras ayudas como pueden ser las diapositivas o los acetatos para el retroproyector.

### **Experimentación apoyada con computador**

Pero el computador puede desempeñar también una función importantísima en el laboratorio mismo. Gracias a diferentes tipos de interfaz el computador puede ser transformado en un instrumento de medida extraordinariamente poderoso y preciso.

Poderoso por la gran variedad de medidas que puede tomar y por las velocidades a las cuales las puede tomar. Puede medir tiempos y distancias; en consecuencia puede medir también velocidades y aceleraciones. Puede medir temperaturas y voltajes. Puede también medir fuerzas. En general, puede medir cualquier magnitud que se pueda traducir, a través de una interfaz, a voltajes de una corriente eléctrica. Poderoso por la posibilidad que tiene, no sólo de hacer las mediciones, sino también de almacenarlas en memoria y procesar los datos obtenidos con la finalidad de expresarlos en términos de diferentes tipos de gráficas y de tablas. Poderoso también por la gran velocidad con la que puede realizar todas estas operaciones. Puede obtenerse, para tomar un ejemplo, que en la pantalla se vaya viendo cómo se va representando un movimiento en una gráfica de tiempo transcurrido contra distancia recorrida por un móvil (las tan mal llamadas "gráficas de espacio contra tiempo"), al mismo tiempo que se va dando el fenómeno.

También gracias a la velocidad y exactitud con la que un computador realiza sus operaciones, la cantidad y la precisión de las medidas tomadas por él es bastante grande. Un programa hecho en un lenguaje tan rudimentario como el BASIC puede tomar hasta 60 datos en un segundo y almacenarlos.



### Contrastando pre-conceptos físicos y experimentando con ayuda del computador

Veamos algunos ejemplos de arreglos experimentales que se pueden lograr con un equipo en el que se utiliza un computador que, para otras funciones, puede ser considerado desde hace ya mucho tiempo como obsoleto.

En el primer caso que ofrecemos como ejemplo se trataba de contrastar la hipótesis de una estudiante que, como lo hemos ya señalado, pensaba que un cuerpo de masa muy grande no podía ser movido por una fuerza muy pequeña (esta conjetura se conocía dentro del curso como "el problema de la gata de Marcela" puesto que ella aludía a un experimento mental en el que participaba su gata arrastrándola a ella montada en patines). La hipótesis podía ser planteada en términos negativos de la siguiente manera: "Un cuerpo de masa muy grande, sobre el cual no actúa sino una sola fuerza, no puede ser movido cuando esta fuerza es muy pequeña". Se trataba entonces de diseñar un experimento en el que se cumpliera la condición de tener un cuerpo de una gran masa sobre la cual actuara una sola fuerza muy pequeña que fuera capaz de mover ese cuerpo, lo cual sería un claro contraejemplo de la hipótesis planteada.

Lo primero que fue evidente después de algunos intentos por lograr un arreglo experimental en el que se cumplieran estas condiciones, es que es imposible deshacerse de la fuerza ejercida por la tierra sobre el cuerpo y por lo tanto es imposible deshacerse de la fuerza que la superficie que sostiene el objeto hace sobre él dando origen a una fuerza de rozamiento que se opone al movimiento del objeto en cualquiera dirección sobre esa superficie. Ahora, dentro del instrumental del que se dispone, hay un riel que reduce virtualmente a cero la magnitud de la fuerza de rozamiento entre él y un carro que se desplaza por su superficie. Ello se logra haciendo que aire a presión salga del riel a través de pequeñísimos agujeros perforados de tal manera que se forma un "colchón" de aire sobre el cual puede deslizarse el carro sin tener contacto con el riel. De esta manera, si bien no se logra que un cuerpo (en este caso el carro) se encuentre bajo la acción de una sola fuerza, sí se logra que todas las fuerzas que actúan sobre él se anulen. De esta forma si se aplica sobre el carro una fuerza paralela al riel, se logra que esta sola fuerza sea la responsable del movimiento del carro. Esta fuerza se puede lograr con la ayuda de una masa y una polea cuya inercia es bastante baja; la masa se hace pender de una cuerda muy fina que pasa por la polea y se une con el carro.

Puesto que la fuerza debe ser muy pequeña con respecto a la masa del cuerpo que va a ser movido, la masa que se cuelga del carro es muy pequeña en relación con la masa del carro. Los valores utilizados con el equipo en referencia son 230g para la masa del carro y 3g para la masa que se cuelga.

Al realizar el experimento se observa que el cuerpo efectivamente se mueve. Esto causa gran sorpresa entre los estudiantes que suponían que esto no podía suceder. Esta discrepancia entre lo esperado y lo observado obliga al estudiante a reevaluar sus teorías

acerca del movimiento de los cuerpos.

Pero hasta aquí el computador no ha jugado todavía ningún papel. Después de que se observa en forma cualitativa el fenómeno, se puede repetir el experimento preguntándose qué tanto se mueve el cuerpo cuando se le aplican diferentes fuerzas. Para contestar esta pregunta, se cuelgan diferentes masas y se observan los movimientos que con ellas se logran. La mejor forma de estimar un movimiento es medir la velocidad y los cambios que ésta va teniendo a lo largo del tiempo. Ello se logra poniendo en el extremo de donde parte el carro un sonar que capta la posición del carro 60 veces por segundo y transfiere esos datos a un pequeño computador de 64K de memoria RAM. El computador almacena los datos obtenidos y va graficando, como lo anotamos ya, el movimiento en la pantalla al mismo tiempo que éste se va dando.

Después de observar el fenómeno expresado en una gráfica, se pueden efectuar diferentes cálculos con la ayuda de una hoja electrónica. Se puede calcular la velocidad y la aceleración en cada instante. Entre esos diferentes cálculos, se le puede pedir al computador que divida las fuerzas aplicadas sobre el carro por las aceleraciones de éste obtenidas con ellas. De esta forma se hace evidente que lo observado se podía deducir de la segunda ley de Newton que todos ya conocían. En la mente del estudiante, la segunda ley de Newton chocaba con las teorías del estudiante, y como es costumbre, éstas últimas primaban.

Algo similar se puede hacer para contrastar la hipótesis de que los cuerpos pesados caen más rápidamente que los cuerpos livianos. Para esta ocasión se utiliza un dispositivo que deja en caída libre esferas de diferentes pesos al mismo tiempo que manda un impulso eléctrico que es captado a través de una interfaz por el computador. A una cierta distancia se encuentra una foto celda de rayos infrarrojos. Al ser interrumpido el rayo infrarrojo por el cuerpo que pasa a través de la foto celda, ésta envía otro impulso al computador. De esta forma el computador tiene el dato de "la hora de partida del dispositivo y la hora de llegada del cuerpo a la foto celda". Introduciendo el dato de la distancia entre el punto de partida y el punto de llegada, el computador calcula la velocidad promedio, y si se quiere, la aceleración promedio. El alumno, nuevamente, ve confrontadas sus expectativas con los hechos. De esta confrontación tiene que surgir una reelaboración de sus teorías.

## CONCLUSIÓN

Con estos dos ejemplos se ilustra cómo se puede contestar a la pregunta que se formulaba en las primeras líneas de este trabajo. Nótese qué tan difícil sería contestar de una forma bien argumentada esa pregunta para el caso del computador en el laboratorio de física, si no se contara con una filosofía educativa que aquí hemos resumido en frases como la siguiente: "La educación es un proceso de sustitución de lenguajes dentro del contexto de un diálogo honesto entre estudiante y profesor, en el que el profesor tiene como principio fundamental respetar siempre en el estudiante el proceso por medio del cual todo ser humano accede al conocimiento". Por esta razón estamos convencidos de que el primer paso que se debe dar para comprar un computador es contar con una filosofía educativa.

---

El computador en el laboratorio de física: una alternativa para la enseñanza de la Física en el bachillerato

### REFERENCIAS

- Vasco, C.E. (1987). Comunicación personal  
Federici, C. (1988). Comunicación personal  
Driver, R. (1986) Psicología Cognitiva y esquemas conceptuales de los alumnos.  
Enseñanza de las Ciencias: 4(1), 3-15