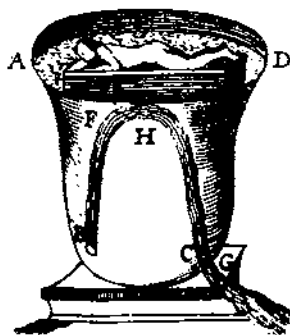


# INTERCAMBIOS, COMENTARIOS



## Y CRÍTICAS

*En esta sección intentamos recoger, por una parte, los comentarios y críticas sobre los trabajos aparecidos, así como sugerencias de cualquier tipo que puedan contribuir a una mejora de la revista.*

*En segundo lugar pretendemos que estas páginas sirvan para dar a conocer la existencia de grupos de trabajo y facilitar así los contactos e intercambios.*

*También pensamos que puede ser de interés el conocimiento de las líneas de trabajo seguidas por los distintos grupos, que pueden enviar breves resúmenes de sus actividades.*

*Por último contemplamos la posibilidad de favorecer los intercambios objeto de esta sección con la publicación de algunas entrevistas y mesas redondas.*

## EXPERIENCIAS DE AULA

### DEMOSTRACIONES DE FÍSICA: ¿PARA QUÉ ?

*Figueroa, D.<sup>1</sup>, Gutiérrez, G.<sup>1</sup>, Andrés, Z. y Maite, M.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Departamento de Física, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela

<sup>2</sup> Centro Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de la Ciencia - CENAMEC, Caracas, Venezuela.

#### Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo reportar una experiencia educativa cen-

trada en demostraciones de física, que está dirigida a promover en los estudiantes una disposición favorable para el aprendizaje de esta disciplina.

La enseñanza de la física, por lo general, hace énfasis sólo en el contenido. Los esfuerzos están dirigidos hacia los conocimientos de la disciplina. En este sentido, los resultados no son muy alentadores, el porcentaje de reprobados en los cursos de física es alto y, lo que es más grave aún, en nuestro país como en muchos otros, cada día existen menos estudiantes interesados en estudiar la carrera de física o docencia en física y los estudiantes de otras carreras ven los cursos de física como un mal necesario.

La educación, en un sentido amplio, de acuerdo con la concepción de Novak (1992), es una experiencia que contribuye a que una persona pueda manejar situaciones de la vida diaria con éxito. Si transferimos estas ideas a la enseñanza de una disciplina, en particular de la física, diríamos que enseñar es contribuir con el logro de la adquisición del conocimiento, el cambio en sus emociones y sentimientos, tal que le permitan desarrollar su capacidad para manejar nuevas situaciones o experiencias relacionadas con nuestra interacción con la naturaleza física.

En el proceso educativo formal ocurre una interacción entre el docente y el



aprendiz; ésta debe ser emocionalmente positiva e intelectualmente constructiva para lograr que el aprendiz gane comprensión de los conocimientos o experiencias que les presenta el docente. Ambos aspectos no están desligados; para lograr que los estudiantes adquieran conocimientos de manera significativa, es menester que estén dispuestos para ello, que deseen aprender, de lo contrario, el estudiante estudia sólo para aprobar los exámenes y en consecuencia el aprendizaje es, por lo general, memorístico.

Las demostraciones son estrategias instruccionales empleadas por los docentes de física desde tiempos remotos. En las últimas décadas, en nuestro país, así como en otros (Taylor 1988), fueron abandonadas por considerarse, entre otras razones, que el esfuerzo y el costo requerido para su realización era demasiado alto en comparación con el beneficio, medido éste por el aprendizaje de conocimientos que las demostraciones en sí mismas producen. La falla en este análisis está en lograr con ellas metas que no le son atribuibles. Creemos que la función básica es motivar, incitar a la generación de preguntas, propiciar experiencias que amplíen el ámbito de aplicación de los conocimientos teóricos o cuestionen su aplicabilidad.

### Las demostraciones en la USB

Hemos enfocado nuestra atención en lograr que la enseñanza de la física en la Universidad Simón Bolívar sea más favorable emocionalmente, sentimiento básico para generar una buena disposición hacia el aprendizaje conceptual. A tal fin, se ha desarrollado un «Laboratorio de Demostraciones de Física», que se lleva a cabo en el contexto de los cursos de física a nivel introductorio.

El objetivo de este laboratorio es proveer a los estudiantes de experiencias motivadoras que ilustren los conocimientos enseñados en el curso teórico. En éstas se presentan fenómenos físicos interesantes, de manera amena y atractiva. La mayoría de las demostraciones son adaptaciones de experimentos clásicos que han sido publicados por diversos autores (Doherty 1991, Ehrlich 1990, Freier 1981 y Meiner 1985). Algunas de las demostraciones que hemos seleccionado para este estudio están descritas en forma breve e ilustradas en el anexo I.

Las demostraciones se realizan en un auditorio con capacidad para 200 personas, en sesiones de 2 horas, con una frecuencia de, más o menos, una cada cinco semanas. Los estudiantes asisten voluntariamente, sin control de asistencia, ni evaluaciones. Se intenta que los estudiantes perciban las experiencias con

la visión e interés de un físico que observa la naturaleza. El ambiente que se logra durante las demostraciones es de diversión y participación, con una carga emocionalmente positiva. En cada sesión se presentan del orden de 15 demostraciones. Los estudiantes pueden discutirlos y analizarlos con su profesor de física en el contexto del curso formal.

Las demostraciones diseñadas permiten la participación de los estudiantes e incitan a la reflexión. Cada demostración se desarrolla siguiendo la siguiente estrategia:

a) Se presenta una ilustración (trasparencia a color) de la situación inicial o experiencia con la descripción de lo que se hará, y se incluyen preguntas que estimulan el pensamiento de los jóvenes hacia el resultado.

b) Transcurrido un tiempo para la reflexión, los comentarios y a veces el sondeo, se realiza la experiencia, en la mayoría de las ocasiones con la participación activa de los estudiantes en el escenario. A éstas se le imprimen una componente de espectacularidad.

c) Una vez realizada la experiencia, que en ocasiones conviene repetir, se presenta una explicación formal resumida, evidenciando la aplicación de los conocimientos enseñados en clase. A veces se deja que los estudiantes busquen sus respuestas *a posteriori* y se motiven para iniciar una discusión de los principios físicos involucrados y sus implicaciones.

La efectividad de las demostraciones se midió, de acuerdo con su finalidad, mediante indicadores de asistencia, permanencia y opinión de los estudiantes respecto

de los experimentos en cuanto a su relación con el curso de física.

### Resultados

Los resultados que presentamos corresponden a un estudio realizado entre estudiantes de Física 1 (mecánica), cursantes de diversas carreras en las áreas de ciencias e ingeniería. El programa de demostraciones se realizó con 8 secciones (un total 640 estudiantes). La asistencia a cada sesión fue espontánea, con un promedio de un 70%. La permanencia de los estudiantes durante las dos horas de demostraciones fue cercana a un 80%.

Se aplicó una encuesta de opinión (anexo II) a una muestra de 160 estudiantes (25%). El instrumento tiene tres secciones. La parte A evalúa la opinión del estudiante respecto de la disciplina; la escala empleada fue: de poco (1) a mucho (5). La parte B recoge la opinión del estudiante respecto de las demostraciones, y la escala utilizada fue: nada (1) a mucho (5). Por último, en la parte C se pide que nombre al estudiante tres de las demostraciones que más le gustaron. La confiabilidad del instrumento (parte A y B) determinada mediante el coeficiente alfa de Cronbach resultó de 0,78.

La opinión de los estudiantes respecto de la disciplina es positiva. Se obtuvo una media de 4,5 para interesante e importante y 1,5 para aburrida e irrelevante; por otra parte, la física es considerada como relativamente compleja y difícil, resultó una media de 3,5. (Fig. 1).

Los estudiantes encuestados consideran que las demostraciones permiten relacionar la teoría con el mundo físico real, afianzan el conocimiento teórico, esti-

Figura 1

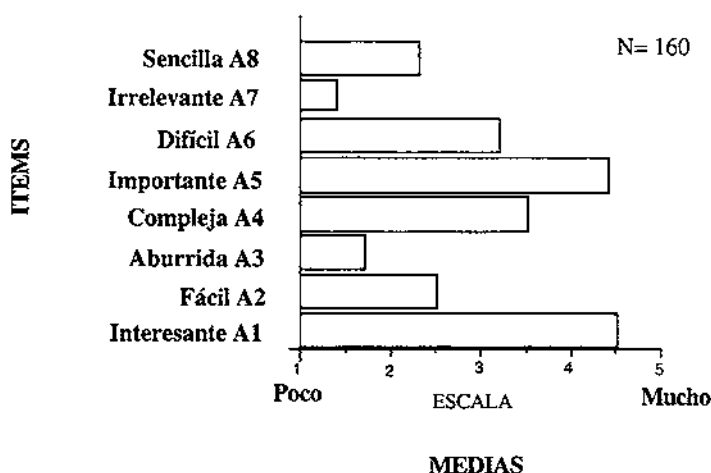
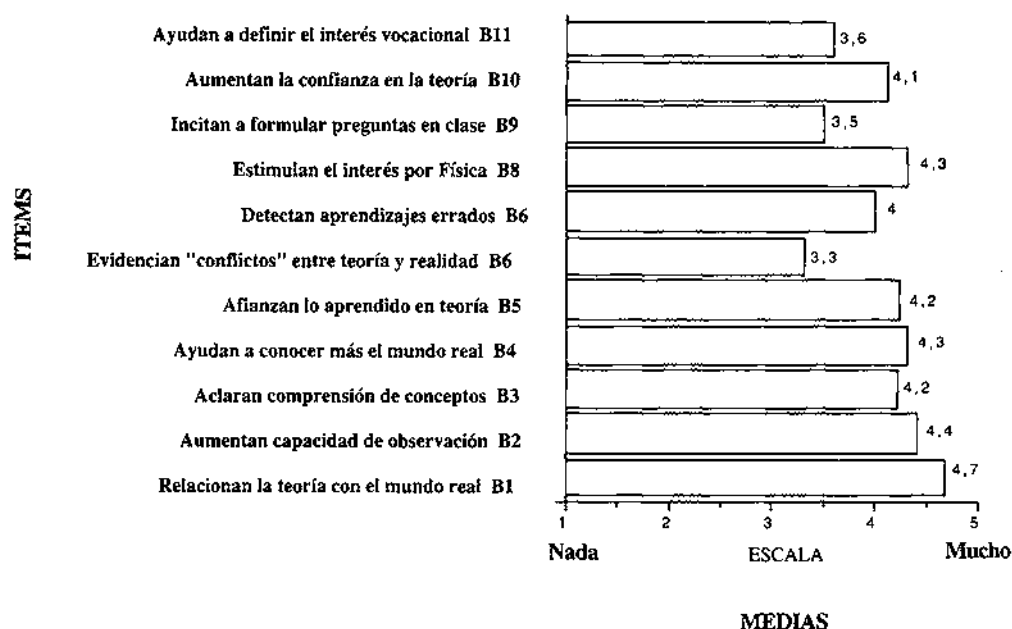




Figura 2



mulan su interés por la física y ayudan a comprender la teoría, lo cual se evidencia de las medias obtenidas en la parte B; a excepción de los ítems B6, B9 y B11, donde la media resultó entre 3 y 4, el resto oscila entre 4 y 5. (Fig. 2).

### Conclusiones

Podemos decir que los jóvenes de este estudio consideran que la física es una disciplina muy interesante y muy importante; poco aburrida y poco irrelevante; más o menos compleja y difícil. En cuanto a las demostraciones, consideran que permiten relacionar mucho la teoría con el mundo físico real e incrementar la capacidad de observación, facilitan la comprensión de los conceptos enseñados en el curso teórico, aumentan la confianza en lo aprendido en teoría y estimulan el interés por la física. Estas opiniones de los estudiantes pueden tomarse como puntos de partida para profundizar el estudio del impacto que las demostraciones tienen sobre los estudiantes.

Las demostraciones que más impactaron fueron:

a) Resistencia de los huevos de gallina: Un banco con tres patas apoyadas sobre huevos de gallina, los cuales pueden resistir el peso de una persona de más de 80 kg sin romperse.

b) Experiencias de cinemática y dinámica realizadas mediante un computador y usando el interfaz ULI (Vernier). El estudiante actúa como objeto móvil, el cual a medida que va caminando ve proyectado en una pantalla gigante los gráficos de su posición, velocidad y aceleración en función del tiempo; permitiéndole controlar a voluntad el tipo de dependencia funcional.

c) Impulso e inercia: manzana atraviesa sin moverse, por un lápiz a gran velocidad. (Fig. 1).

d) Credibilidad en la conservación de la energía: un péndulo gigante constituido por una pelota de bolos que cuelga del techo se suelta desde la cara de un estudiante, el cual generalmente no resiste la tentación de apartarse cuando ve la pelota regresar a su cara.

En la Universidad Simón Bolívar, los tres primeros trimestres son comunes, después de los cuales los estudiantes seleccionan la carrera de estudios. En el año escolar 1992-93, los estudiantes tuvieron Laboratorio de Demostraciones durante los cursos de Física 1 y Física 2 en el segundo y tercer trimestre respectivamente. Es de hacer notar que desde hace varios años el número de estudiantes que selecciona física ha venido siendo cada vez más reducido, sin embargo este año hubo un ligero incremento en el

porcentaje de estudiantes que han seleccionado como carrera en primera opción la licenciatura en física. Este hecho podría estar asociado con la introducción del laboratorio de demostraciones de física, lo cual habría que ser evaluado en el tiempo.

Como resultado de este trabajo, nos proponemos realizar una nueva experiencia en la cual se ensaye el laboratorio de demostraciones acompañado con la discusión y análisis exhaustivo de algunas de éstas (las que más impacten a los jóvenes), en el contexto del curso de física y con el objetivo de relacionar el mundo físico con la teoría y facilitar la comprensión de los conceptos enseñados.

Es importante señalar que el diseño e implementación de las demostraciones requiere de una alta dedicación por parte de un equipo de trabajo; sin embargo creemos que con ellas se logra interesar a los jóvenes por el aprendizaje de la física, y por ello bien vale la pena el esfuerzo. Esta experiencia podría resultar interesante si se aplicase también en nuestros niveles de enseñanza primaria y secundaria (Isidor 1992).

Finalmente, queremos enfatizar que las demostraciones por sí solas no van a permitir que los estudiantes aprendan física. Tampoco pretenden sustituir el



trabajo experimental de laboratorio e individual. Tan sólo se está atendiendo un aspecto importante dentro de la concepción de enseñanza y de aprendizaje significativo: la disposición para aprender.

## Referencias bibliográficas

Doherty, P. y Rathjen, D. (ed.), 1991. *The Exploratorium. Science Snack-*

*book.* (Exploratorium Teacher Institute: San Francisco).

Ehrlich, R., 1990. *Turning the World inside out.* (Princeton University Press: NJ).

Freier, G.D. y Anderson, F.J., 1981. *A demonstration handbook for physics.* (AAPT).

Isidor, E., 1992. On Bringing Physics into the Elementary School Class-

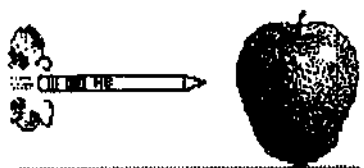
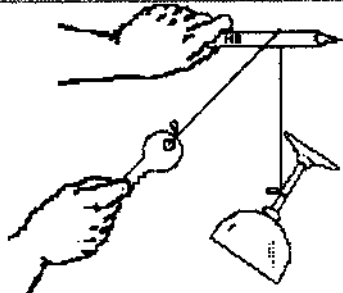
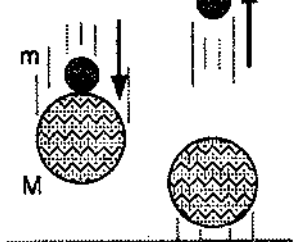

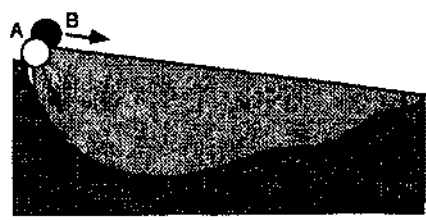
room, *The Physics Teacher*, 30, pp. 430-433.

Meiner, H.F., (ed.), 1985. *Physics demonstration experiment.* (Roland Press: Nueva York).

Novak, J., 1992. *A theory of education.* (Second edition; draft. Cornell University).

Taylor, C., 1988. *The art and science of lecture demonstration.* (Adam Hilger: Bristol & Philadelphia).

## ANEXO 1

<p>1. Inercia de una manzana. Impulsado por un chorro de aire, un lápiz atraviesa una manzana sin que ésta se mueva. El lápiz luego atraviesa una tabla delgada que está fija, permaneciendo intacta la punta del crayón.</p>	
<p>2. ¿Se romperá la copa? Una copa de vidrio cuelga por un extremo de un hilo, el cual después de pasar por encima de un lápiz se sostiene horizontalmente por un objeto ligero en su otro extremo. Cuando se suelta este objeto, el hilo se enrolla dando varias vueltas alrededor del lápiz, deteniéndose así la caída de la copa, milagrosamente justo antes de que ésta choque contra el piso.</p>	
<p>3. Rebote de dos pelotas. Una pelota ligera se coloca encima de otra grande y se dejan caer desde la altura de la cintura. La pelota grande rebota hasta casi la altura inicial pero resulta espectacular observar que la pequeña después del rebote llega a pegar del techo (hasta nueve veces la altura inicial)</p>	
<p>4. Tautocrona. En una pista cicloidal se sueltan simultáneamente y desde diferentes posiciones, dos pelotas, las cuales siempre chocan en el punto central de la pista, independiente de los puntos de partida.</p>	
<p>5. ¿Cuál llega primero? Se sueltan dos pelotas simultáneamente en pistas que tienen iguales alturas de partida y de llegada. La A es de forma irregular y la B es recta e inclinada. Más del 80% de los estudiantes, predicen erróneamente que las pelotas llegan simultáneamente y quedan sorprendidos al observar que la pelota en A, que recorre el trayecto más largo, siempre gana la carrera con gran ventaja.</p>	



## ANEXO II

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
LABORATORIO DE DEMOSTRACIONES

ENCUESTA DE OPINIÓN  
**FÍSICA 1**  
TRIMESTRE: ENE - ABR./ 1993

A. Expresa tu opinión acerca de la Física marcando con una X:

	Poco (1)	(2)	(3)	(4)	Mucho (5)
Interesante					
Fácil					
Aburrida					
Compleja					
Importante					
Difícil					
Irrelevante					
Sencilla					

B. Indica en qué medida las demostraciones:

	Nada (1)	(2)	(3)	(4)	Mucho (5)
Relacionan la teoría y el mundo físico real.					
Desarrollan tu capacidad de observación.					
Aclaran tu comprensión de conceptos.					
Ayudan a conocer más el mundo físico real.					
Afianzan lo aprendido en la clase teórica.					
Evidencian aparentes discrepancias entre la teoría y la realidad.					
Permiten detectar conceptos aprendidos en forma errada.					
Estimulan tu interés por la Física.					
Incitan a formular preguntas en clase.					
Aumentan tu confianza en la teoría.					
Ayudan a definir tu interés vocacional.					

C. ¿Cuáles fueron las tres demostraciones que más te gustaron?

1	
2	
3	



## ALGUNOS DEFECTOS SISTEMÁTICOS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE FÍSICA EN ALUMNOS DE PRIMER CURSO DE ENSEÑANZA SUPERIOR: UNA EXPERIENCIA PERSONAL

J. Félix Fuertes.

Departamento de Física. Universidad de Oviedo. 33007. Oviedo.

### Introducción y justificación

En el desarrollo de programas de investigación sobre enseñanza de las ciencias, se corre cierto riesgo de incurrir en el error fundamental que este tipo de enseñanza padece actualmente. Esto es, su fragmentación y especialización en disciplinas separadas e independientes y en situaciones artificiales acaban perdiendo, en parte, su contacto con la realidad de la que surgen y a la que se deben y, si se acercan, lo hacen a veces a través de sobredosis de «datos experimentales» obtenidos mediante sondeos estadísticos concretos sobre situaciones «preparadas» (a veces con enorme aparatología informática) que después se generalizan. Se pasa así, del estudio de la enseñanza de las ciencias a las «ciencias de la enseñanza», con lo que tiene de ventajoso por el carácter rigorista de lo científico, pero, igualmente peligroso, por lo que conlleva de idolatración de las situaciones simuladas y cuantificables.

Hay, en efecto, un gran número de trabajos basados en experiencias propuestas para examinar el grado de asimilación de determinados alumnos en determinada disciplina y cierto nivel. Pero en algunos se toman en cuenta las experiencias directas, no sesgadas por los consabidos tests concretos, que poco dicen de la práctica cotidiana del profesor y del alumno en su entorno, y en su planteamiento más elemental, pues tienden a estar ocultos por la sofisticación de los criterios de valoración (cuando no totalmente desvirtuados, por la elección confusa de los tests) y por la poca tendencia a mostrar experiencias personales directas, profundas, que abarquen algo más que el propio aspecto académico.

Se acerca así, todo el proceso, hacia la tendencia a la investigación didáctica por la propia investigación, en situaciones a veces muy artificiales, impregnada sin duda por la orientación general actual del quehacer científico, en el que la enseñanza ha descendido a niveles ínfimos en favor de la investigación, que se encuentra además, sobre todo en la enseñanza universitaria, bastante infravalorada (Ridgen 1988).

Por tanto, puede ser de cierto valor, en este contexto, la muestra de experiencias directas y de opiniones generales (Novak 1991), ajenas en principio a toda metodología rigurosa de las teorías de aprendizaje y, como tales, acaso confusas y disgregadas, pero que han de servir como «datos experimentales» para introducir o validar dentro de dichas investigaciones. No es otra la intención del presente trabajo.

### El planteamiento y resolución de problemas

En sentido amplio, este planteamiento es el verdadero objetivo de la física si se tiene en cuenta que los cursos de introducción en el bachiller han de servir como base para otros cursos en la enseñanza superior, principalmente orientados hacia la utilidad de la asignatura en otras disciplinas; incluso dentro de la carrera de físicas, ha de servir de fundamento para su estudio global. Esto representa un cambio general de orientación que está siendo ampliamente estudiado (Colombo et al. 1991, Bascones 1989, French 1988 y Strand 1986) y que se ha tomado como base en la exposición de las clases (dentro de lo posible) que sirven de punto de partida para este trabajo.

En sentido estricto, es a través de la resolución automática de problemas concretos, donde los defectos endémicos de la enseñanza de la física se muestran con más nitidez. La artificialidad de sus planteamientos, y la simplicidad y el carácter automático de sus soluciones, no es algo que los alumnos practiquen por sí mismos, sin ninguna causa externa aparente, sino que en su raíz está principalmente la práctica docente, en sí misma y en su entorno. Son afortunadamente muchas, y cubren un amplio espectro, las publicaciones que hacen hincapié en estas deficiencias (Gil et al. 1988, Gil et al. 1992 y Arons 1990), sin embargo, estos análisis parecen llegar solamente a las personas implicadas en la investigación didáctica, con poca resonancia sobre los colegas que la practican; cuestión por lo demás, bastante delicada.

En el presente trabajo, se pretende evidenciar esta situación, tomando como ejemplo las deficiencias más sistemáticas que aparecen en la resolución de problemas de examen en un curso de física para primero de Biología (por lo que respecta a la experiencia personal, que no es ajena, con sus matices, a otros compañeros, incluso para la carrera de Física); deficiencias que se incrementan con los años, paradójicamente cuando más abundan las publicaciones y preocupación docentes. Es todavía más evidente esta situación por cuanto se hace explícita

e insistente, en la exposición de clase, la necesidad de un análisis previo del problema para establecer un modelo simple del que se pueda obtener determinada información, siendo en Biología aún más necesaria la educación para la búsqueda del modelo físico simplificado, entre la complejidad de las situaciones propias.

Los resultados en los tres últimos años son bastante tercos por cuanto se acomodan bastante al análisis general de Gil y otros (1992). Claro está que los objetivos que se proponen en clase pueden ser nefastos en su exposición y las mejoras deseadas no sólo no se producen sino que aumenta el deterioro. Sin embargo, no es menos cierto que se llega a la universidad con unos preconceptos erróneos y una actitud pasiva muy arraigados. Existe, pues, una situación bastante compleja, que tiene que abordar el docente, más amplia que el propio estudio de los procesos de aprendizaje, de la cual esta experiencia personal pretende ser una muestra.

Tomando como ejemplo global los problemas de los exámenes de la parte de mecánica, se intenta analizar esta situación. Todos los problemas, en síntesis, se refieren al cálculo de la trayectoria o de magnitudes relacionadas (energía cinética, energía potencial, etc.) de alguna partícula en un campo de fuerzas constante (ya sea eléctrico, gravitatorio o magnético) con determinadas condiciones iniciales. Se ha insistido en la explicación —y aun en cada enunciado—, en la necesidad de encontrar una solución a partir de la ecuación fundamental de la dinámica y de las condiciones iniciales concretas de cada problema, referidas siempre a un determinado sistema. Se insiste también en la necesidad de encontrar una solución paramétrica en la que luego se incluyen los datos numéricos propios del problema. En el enunciado, también se pretende un acercamiento a la realidad concreta tratando de especificar lo más posible las condiciones propias de la solución, en la que, en ningún momento, haya ningún dato o aproximación que presuponer, mostrando lo más claramente posible todos los detalles necesarios para la solución, con objeto de «ayudar» la merma capacidad del alumno ante la psicosis del examen (Fuertes 1990). Sin embargo, estos miramientos, a la postre, resultaron casi totalmente inútiles, pues el proceso de solución, en general, siguió milimétricamente los defectos sistemáticos que ya son casi universales.

### Errores más generalizados

En efecto, los errores más generalizados no difieren de los más comunes en todos los ambientes y tienden, inexorablemente, y a pesar del previo aviso, a resolver



los problemas aplicando rápidamente las fórmulas que más parezca que vengan al caso. De no mediar un comportamiento similar sobre otros compañeros próximos, el grado de frustración que se podía alcanzar es grande, y aunque este atenuante es poco tranquilizador, en consecuencia, es necesario examinar todas las posibles influencias, tanto propias, como externas.

En síntesis, estos son los defectos más generalizados:

*a) Idolatración del número y la fórmula*

Un alto porcentaje de alumnos (superior al 60%, en cualquier caso; más, en cursos más recientes) recurre directamente a los datos numéricos, a través de los que calcula la magnitud pedida mediante la fórmula que le venga más a mano y que, casi siempre, son las de la caída libre, con el origen del sistema de referencia en el instante inicial o del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

En algún caso aciertan (cuando accidentalmente coincide la fórmula elegida), pero es bastante común dar el resultado en las unidades que vengan al caso sin tener en cuenta las dimensiones respectivas de los datos que intervienen. Así, si los datos empleados no vienen dados en unidades del mismo sistema, la homogeneidad dimensional no funciona. ¡Pero, además, es extremadamente común obviar las unidades, aun si se ha insistido en la necesidad de introducir en las fórmulas los valores numéricos con las unidades que le corresponden y los factores de conversión necesarios!

*b) La universalidad del potencial gravitatorio (o de la generalización de lo concreto)*

Es extremadamente sorprendente—lo cual demuestra a las claras el brutal arraigo de la solución formulista—que, aun especificando en un enunciado concreto la insignificancia de un potencial gravitatorio, en un problema donde el campo es estrictamente electrostático o magnético, la gran mayoría recurra a la solución para el cálculo del potencial gravitatorio, aplicando la sempiterna fórmula  $-mgh$ . Pero además, de cualquier forma, pues, estando referido su valor a una altura respecto de la vertical, la  $h$  necesaria se busca de cualquier dato que se preste, ya sea altura respecto al suelo u otra distancia cualquiera que intervenga. El mismo efecto se plantea cuando se pretende calcular una velocidad o energía cinética, donde, si es necesaria una aceleración para «poner en la fórmula», se pone la gravedad y ¡asunto resuelto! Siendo la generalización de lo gravitatorio lo más evidente, es común a otras situaciones donde se presuponen, por ejemplo, con-

diciones iniciales específicas, casi siempre en reposo y en el origen (¡aun si en algunos casos se especifica en un dibujo previo una situación diferente!), valores de determinada magnitud en determinado instante de tiempo, iguales al valor en el instante inicial o final, etc. Esa práctica tan común de la gente común, que hace de «todo árbol, olivo» y de «todo joven, artillero».

*c) El sistema de referencia y el temor a los vectores*

Aun en el caso de que se aborde la solución rápida a través de fórmulas más o menos debidas al caso, hay una falla sistemática en cuanto al establecimiento de un sistema de referencia, universalmente ignorado, que, sin entrar en sutilezas conceptuales, podría ayudar a una mejor solución rápida. Sorprende que, siendo la referencia estrictamente necesaria para el cálculo del potencial o para la asignación adecuada de las condiciones iniciales, ni siquiera en ese caso se haga necesaria.

El olvido de la referencia es sólo una parte de la tendencia sistemática a simplificar el estudio de los movimientos, para evitar una descripción rigurosa y clara a través del álgebra vectorial. Esta situación, que se aborda en muchos libros de física de esta manera simplificada, está demostrando una inutilidad más pernicioso que los conflictos de dificultad de aprendizaje que intenta evitar, evadiéndose de la descripción vectorial del movimiento. En efecto, está en el origen de gran parte de la dificultad de la solución del problema, por lo que se refiere a su dificultad propia operativa y, lo que es peor, por lo que conlleva del establecimiento de preconceptos erróneos simplificados, que después resultan tremendamente imposibles de erradicar (Gil et al. 1992)

De estas tres, siendo muy generales, la primera es la que con más insistencia se manifiesta. Puede pensarse que, en biología, la presencia de la física, a medida que las tendencias pragmáticas se van arraigando más y más, va perdiendo interés para los propios alumnos. Pero esta situación es general para cualquier parte de la física y en cualquier curso, y más marcada a medida que pasan los años.

Por lo que respecta a esa situación en la física para biólogos, la falta de interés por aquella, debido a la ausencia de una utilidad directa, ha sido ganada a pulso, en gran parte, por los docentes en esta disciplina, al presentarla ante aquéllos como una asignatura cerrada e independiente de la biología. Este pragmatismo en los biólogos está así en parte justificado, pero a su vez asentado por el propio pragmatismo y especialización del do-

cente—explica física, que es lo suyo—. (Así ha quedado evidenciado en la elaboración de los nuevos planes docentes en casi todas las universidades españolas).

Pero esta situación es igualmente evidente en otras disciplinas (geología, química, informática, etc.). La búsqueda de la solución rápida y efectiva, tan simple como sea posible, no es ajena dentro de los primeros cursos de la carrera de físicas, como no lo es en los cursos de física de bachiller, donde se tiende hacia la formación simplista, fruto de la demanda externa, cuando se debería orientar hacia una formación más universalizada y básica. Sin embargo, aunque los estudios sobre teorías de aprendizaje se hagan más y más valiosos y numerosos, el docente se encuentra envuelto en una situación difícil de solventar desde su única aportación.

**Dificultades para una solución**

¿Qué es lo que hace que este deterioro se haga cada vez más notable, aun con los esfuerzos mayores de los educadores? ¿El tiempo de maduración de estos alumnos se hace ahora más largo? Los estudios de la psicología del adolescente han de tener la solución. Pero, no es menos cierto que la tendencia hacia la universalización y la idealización de experiencias concretas es común en esas edades en todos los tiempos—todos hemos sido adolescentes, baste recordar: amores platónicos, ídolos perfectos—. Lo que sucede, en este momento, es que estas inclinaciones están muy amplificadas por la tendencia hacia la homogeneización de los medios de comunicación, a través de sus mensajes aparentemente inocuos. No cabe duda de que la masificación determina una alta dosis de la pérdida de interés, pero lo que se intenta poner aquí de manifiesto es que esa tendencia hacia la masificación también orienta, por mayoritaria, el comportamiento global, sociológico, ante estas actitudes, validándose la mediocridad a través de la idolatración del número (siempre presente en estos tiempos), y envolviendo sutilmente a todos los implicados directamente: docentes, alumnos, autoridades académicas.

Aunque hay una tendencia generalizada para buscar estos desacuerdos en la personalidad psicológica del adolescente, es, sobre todo en lo que respecta a la idolatración del número como centro de atención de estudios recientes «rigurosamente científicos» en todos los frentes, más una degradación de «las personas grandes», que se transmite al adolescente con fuerte mimetismo, pues siente rabiosamente deseos de hacerse mayor (Saint-Exupéry, 1953: en este sentido,



*El Principito*, sobre todo en los capítulos IV, XIII y XIV, es una muestra elocuentísima de crítica sobre esta grotesca situación [en 1953!; ya han pasado muchos años].

Así, los análisis estadísticos —adoración numerológica pura— se acaban convirtiendo en jueces y parte de la dirección elaboración del proceso docente; ¿de qué extrañar la tendencia tan abierta hacia la solución numerológica de los problemas? Poco se puede hacer si toda la práctica cotidiana (social, económica, etc.) está inundada de un pragmatismo atroz y numérico. Revierte sutilmente en las demandas de la práctica docente por más que los estudios sistemáticos y rigurosos no recomienden esta idolatración.

Esta demanda externa acaba ejerciendo una presión académica sobre el docente, puesto en entredicho —no sin razón, en parte— a través de los análisis estadísticos y encuestas de valoración, a los que se le supone —torpemente— todo el rigor científico (otra vez la idolatración del número), cuando dejan mucho que desear. Así, de un examen estadístico sobre aprobados y suspensos en determinada asignatura en cierta situación, se tiende a responsabilizar al docente del fracaso o del éxito, sin entrar a valorar, por ejemplo, el número de personas que asisten regularmente a clase, pues la estadística se hace sobre los datos matriculados en secretaría, pongamos por caso, o sin tener en cuenta el grado de atención de los que asisten; y así, el profesor ha de bajar sus niveles de exigencia si no quiere verse juzgado superficialmente etcétera. Por otra parte, se acaba valorando al profesor a través de encuestas realizadas en los alumnos que, sin dudar de que tengan cierta validez, acaban desfigurando su propósito corrector inicial, por lo fácilmente que se prestan a actitudes demagógicas.

De esta manera, el intento de darle a las clases una orientación más crítica y amplia, al exigir un mayor esfuerzo inicial en el alumno y sobre todo al dar al conjunto de la explicación una visión no tan inmutable y resolutiva, acarrea generalmente un cierto rechazo en la mayoría de los alumnos (los más despiertos lo acaban viendo bien, pero, desgraciadamente, son los menos) y, en consecuencia, una valoración más negativa del profesor que se aventura en tales experiencias.

El caso que nos ocupa, al calificar el problema del examen, atendiendo más al proceso de solución que a los datos numéricos rápidos, dejó con sensación de injusticia a bastantes alumnos y se tradujo en un descenso en la valoración, notable en las cuestiones concernientes al método de evaluación, y más ligero en otros aspectos. No cabe duda de que

puede ser propio de un deterioro del ejercicio docente que no se alcanza a detectar —sobre todo por la tendencia general que toda persona muestra para evitar descubrir sus propias deficiencias—, pero bien puede existir alguna dependencia producida por la insistencia sobre el alumno para «forzar» su estudio más allá del aprendizaje memorístico y de fórmulas simples. Esta situación también es común en otros compañeros.

En consecuencia, con un criterio evolutivo y crítico sobre los planteamientos y las soluciones, que pretende acercarse tanto como se pueda a los problemas reales, el alumno se entrega a la primera impresión: generalmente de confusión y ambigüedad. Difícilmente acepta que el consabido y sempiterno móvil, que es galaxia, ameba o ballena, puede ser también, según el modelo, partícula, sólido elástico o sistema termodinámico. Así, ante la posibilidad de erradicar esta «confusión», se decanta por la fórmula concreta y valora más positivamente aquello que, aunque difícil, es inmutable y memorizable sin ningún género de ambigüedades.

El efecto, se multiplica sutil y progresivamente, pues, el profesor que lo intenta y ve su valoración desmerecida, tarde o temprano acaba sucumbiendo ante las exposiciones claras y artificiales que, si bien no se aplican a nada, ofrecen una buena posibilidad de lucimiento. Esto, por supuesto, en los casos donde existe una preocupación por la docencia más o menos intensa, cosa que, desgraciadamente en la enseñanza superior, es poco común (y no sólo de este país, sino, principalmente importado, como siempre con retraso, del exterior vanguardista (Ridgen 1988)).

Así, esta degradación formulista y artificiosa se va acumulando en cada generación, de manera que, una gran parte de los docentes actuales ya han sido educados con una fuerte dosis en tales inclinaciones, con lo que, quienes sienten pretensiones más actualizadas, en muchos ambientes, son, realmente, no sólo minoritarios, sino vistos con recelo y menosprecio. Por mayoría se crea una aceptación tácita sobre la orientación docente artificial y clara —acrítica y virtual—, difícilmente detectable además, pues difícilmente será puesta de manifiesto por sus practicantes, ya que, como en el alumno, la ley del mínimo esfuerzo, es también preferida por el docente acomodado, frente a una preparación activa, crítica y evolutiva, quedando oculto por la «profesionalidad» un ejercicio con tintes autistas. Tanto más, si esa práctica es valora positivamente.

Y el proceso se retroalimenta: los profesores que enseñan en el bachiller —for-

mados en una universidad con métodos simplistas— van siendo cada vez menos críticos en sus planteamientos, tanto por su formación —que la dedicación propia puede ir solventando—, como por la presión del entorno —que el tiempo va intensificando—, formando alumnos para la universidad con preconceitos erróneos muy arraigados que cada vez más difícil resulta erradicar, tanto por la pérdida de interés del docente como por la orientación dogmática heredada del alumno, formándose nuevos profesores con mayores dosis de simplicidad y desencanto... y así sucesivamente. En la experiencia propia, este deterioro gradual con el tiempo es evidente, aunque requeriría un estudio más sistemático y amplio.

De esta manera, si el rigor formalista no ha de ser ajeno a una buena metodología, termina en su simplificación en poco más que aplicación de puras «fórmulas» a no menos puras situaciones, tornándose grotescamente lo que en principio se pretende como un planteamiento rigurosamente científico, en mágicamente abracadabrante y, lo que es peor, aceptado por una gran mayoría.

## Conclusiones

Como muestra de los defectos generalizados que imperan en la práctica docente de la física en la actualidad, sobre todo en la resolución de problemas como expresión más directa, y que se describen con clara amplitud y generalidad en recientes trabajos de Gil y otros (1988, 1992), se expone una experiencia docente concreta. En conclusión, la física aparece ante los alumnos, en los primeros cursos de universidad, como una disciplina reducida a la aplicación de simples fórmulas en ciertas situaciones —totalmente artificiosas, virtuales—, y que no tiene contacto alguno con la realidad. A esto contribuyen, en opinión del autor, varios frentes: a) una formación en BUP muy simplista, donde se adquieren conceptos erróneos que quedan muy arraigados; b) una presentación muy rigurosa, pretenciosa y cerrada, en la universidad, que aleja al alumno de todo interés por la asignatura; y c) una presión ambiental (basada en la moda de la investigación estadística, en la artificiosidad de situaciones ideales para las que todo funciona), que afecta a enseñantes, enseñados, autoridades académicas e investigadores de la docencia, que es difícil de erradicar por ubicua y sutil y que ejerce una enorme influencia sobre los dos apartados anteriores.



## Referencias bibliográficas

- Arons A., 1990. *A guide to introductory physics teaching*. (J. Wiley & sons: Nueva York).
- Bascones J., 1989. Instrucción para la transición cognoscitiva: el caso de la física, *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2) p. 120.
- Colombo, I., Salinas, J. y Pesa, M., 1991. La generación autónoma de conflictos cognitivos para favorecer los cambios de paradigma en el aprendizaje de la física, *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3) p. 237.
- French, A.P., 1988. Some thoughts on introductory physics courses, *Am. J. Phys.*, 56(2), p. 110
- Fuertes, J.F., 1990. Sobre exámenes, *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), p. 199.
- Gil, D., Martínez-Torregrosa, J. y Senent, F., 1988. El fracaso en la resolución de problemas: Una investigación orientada para nuevos supuestos, *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), p. 131.
- Gil, D., Martínez-Torregrosa, J., Ramírez, L., Dumas, A., Gofard, M. y Pessoa, A., 1992. La didáctica de la resolución de problemas en cuestión: elaboración de un modelo alternativo, *Didáctica de las Ciencias*, 6, p. 73.
- Novak, J.D., 1991. Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender, *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), p. 215.
- Ridgen, J.S., 1988. If teaching is to be elevated in hierarchy. *Am. J. Phys.*, 56(1), p. 13.
- Saint-Exupery, A., 1953. *El principito*. (Alianza: Madrid, 1991.)
- Strand J., 1986. On some new trend in physics teaching, *Eur. J. Phys.*, 7(2), p. 11.

## ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA MUTARROTACIÓN DE LA GLUCOSA. UN EJERCICIO DE INTERÉS DOCENTE

V.R. Ferro Fernández y R. González-Jonte Cruz. Instituto Superior Pedagógico. Pinar del Río 20200. Cuba.

## Introducción

Los cursos de química física para estudiantes de química, tradicionalmente organizados y realizados insisten en la diferenciación estricta entre la termodinámica y la cinética. Se presentan como métodos diferentes de investigación de la reacción química sin destacar que esa diferenciación es sólo formal y que, en un estudio fenomenológico del proceso, la definición de los límites entre ellas es convencional. Se pierde de vista que agotar el estudio de una reacción química cualquiera exige la complementación de ambos tipos de resultados, que, por demás, se satisface para un mismo ensayo experimental.

En los últimos tiempos, y cada vez con mayor fuerza (Ferro Fernández), asistimos a un proceso de integración sistemática de las disciplinas termodinámica y cinética que debe, necesariamente, tener su expresión en la docencia universitaria especializada. Este proceso se manifiesta por la fusión de sus fronteras formales como métodos de investigación de la reacción química, en busca de una comprensión generalizada, multivalente y sistemática de dicho fenómeno; todo sobre un conocimiento cada vez más profundo y rico de su aspecto estructural.

La manifestación didáctica del proceso referido debe ser profunda y sistemáticamente resuelta y debe ensayar todas las direcciones posibles: desde la concepción y elaboración de los planes de estudio hasta la preparación de cada una de las actividades docentes, tratando siempre de aprovechar todas las opciones que brinda el material docente para ello.

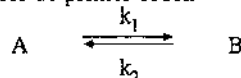
En el presente trabajo se expone una metodología para el estudio integral (termodinámico y cinético) de la reacción de mutarrotación de la glucosa utilizando la polarimetría como técnica experimental de investigación. Este sistema es bien conocido en los cursos de cinética (Guerasimov 1979, Goryachev 1977), pero con frecuencia se desaprovechan las posibilidades que brinda para su estudio termodinámico.

## Fundamentos del ensayo

La mutarrotación de la glucosa



es un proceso que se ajusta a una descripción cinético-formal del tipo reacción reversible de primer orden



para el cual es válida una ley diferencial de velocidad de la forma:

$$\frac{dx}{dt} = k_1 (c_{O,A} - x) - k_2 (c_{O,B} + x) \quad (1)$$

donde  $c_{O,A}$  y  $c_{O,B}$  son las concentraciones iniciales de las especies involucradas en el proceso,  $x$  es la concentración transformada en el tiempo  $t$ ;  $k_1$  y  $k_2$  las velocidades específicas de las reacciones directa e inversa respectivamente.

Este tipo de proceso concluye con el establecimiento del equilibrio para un tiempo  $t_{eq}$ , estado para el cual:

$$\frac{dx}{dt} = k_1 (c_{O,A} - x_{eq}) - k_2 (c_{O,B} + x_{eq}) = 0$$

donde el subíndice «eq» se refiere al estado de equilibrio.

De lo anterior resulta que la extensión del proceso es de magnitud:

$$K_{eq} = \frac{c_{O,B} + x_{eq}}{c_{O,A} - x_{eq}} = \frac{k_1}{k_2} \quad (2)$$

aquí  $k_{eq}$  es la constante del equilibrio en función de las concentraciones.

Es bien conocido que integrando (1) se llega a:

$$K = k_1 + k_2 = \frac{1}{t} \ln \frac{x_{eq}}{x_{eq} - x} \quad (3)$$

donde  $k$  es la velocidad específica de aproximación «global» del sistema al estado final del proceso: el de equilibrio.

La mutarrotación de la glucosa tiene lugar ligera y espontáneamente en agua pura, es catalizada ligeramente por los iones hidronio y muy fuertemente por los oxhidrilo (Wolfender 1956). La constante de velocidad del proceso catalítico viene dada por la ecuación:

$$K_{cat} = K_{s,cat} + k_{H^+} \cdot c_{H^+} + k_{OH^-} \cdot c_{OH^-} \quad (4)$$

donde  $k_{s,cat}$  y  $k_{cat}$  son las velocidades específicas de los procesos sin catalizar



y en presencia de catalizador respectivamente; mientras que  $\kappa_{H^+}$  y  $\kappa_{OH^-}$  son los coeficientes catalíticos de los iones hidronio y oxhidrilo por ese orden.

La polarimetría es un método experimental de investigación ampliamente utilizado (Davidenko, Galego 1984, Goryachev 1977) en el monitoreo de la mutarrotación de la glucosa. El ángulo de rotación de la luz plano-polarizada se define según la ley:

$$\alpha = \alpha^0 \cdot l \cdot c \quad (5)$$

donde:  $c$  es la concentración de la especie ópticamente activa en disolución, expresada en  $g \cdot ml^{-1}$ ;  $l$ , el camino óptico recorrido por la luz; dado en cm; y  $\alpha^0$ , la rotación específica que se define como el ángulo de rotación (en grados) en una capa de solución de 10 cm de espesor que contiene 1 g de la sustancia ópticamente activa en 1 mL de la disolución a 20 °C.

Según (5) la expresión (3) puede escribirse como:

$$\ln |\alpha_\infty - \alpha_t| = k \cdot t + \ln |\alpha_\infty - \alpha_0| \quad (6)$$

donde:  $\alpha_t$  es el ángulo de rotación para cada tiempo  $t$ ; teniendo como valores límites a  $\alpha_0$  para el inicio de la reacción ( $t = 0$ ) y  $\alpha_\infty$  para un tiempo  $t = \infty$  cuando la reacción haya alcanzado el equilibrio.

Para evaluar la constante de equilibrio, directamente de los valores del ángulo de rotación de la luz, debe tenerse en cuenta que para la mezcla de las formas  $\alpha$  y  $\beta$  de la glucosa en disolución se cumple, para cualquier tiempo  $t$ , que:

$$\alpha_t = \alpha_{t,\alpha} + \alpha_{t,\beta} \quad (7)$$

donde los subíndices  $\alpha$  y  $\beta$  de  $\alpha$  se refieren a las formas moleculares intertantes.

Sustituyendo en (7) los valores de  $\alpha$  para cada isómero según la expresión (5) y los tiempos  $t = 0$ ,  $t = t$  y  $t = \infty$  se obtiene,

$$\alpha_t = l \cdot (\alpha_\alpha^0 \cdot c_{t,\alpha} + \alpha_\beta^0 \cdot c_{t,\beta}) \quad (8)$$

$$\alpha_0 = l \cdot \alpha_\alpha^0 \cdot c_{0,\alpha} \quad (9)$$

porque cuando  $t = 0$ , entonces  $c_\beta = 0$  y  $c_{0,\alpha} = c_{total}$  (9.1)

$$\alpha_\infty = l \cdot (\alpha_\alpha^0 \cdot c_{eq,\alpha} + \alpha_\beta^0 \cdot c_{eq,\beta}) \quad (10)$$

donde  $c$  designa la concentración.

Un balance material para el proceso conduce a la conclusión siguiente:

$$c_{eq,\alpha} = c_{0,\alpha} - c_{eq,\beta} \quad (11)$$

De aquí, arreglando (10) se puede escribir:

$$\alpha_\infty = \alpha_0 + (\alpha_\beta^0 - \alpha_\alpha^0) \cdot c_{eq,\beta} \cdot l \quad (12)$$

y entonces

$$c_{eq,\beta} = \frac{\alpha_\infty - \alpha_0}{l \cdot (\alpha_\beta^0 - \alpha_\alpha^0)} \quad (13)$$

donde  $\alpha_\alpha^0 = +113^\circ$  y  $\alpha_\beta^0 = +19^\circ$

Según las condiciones (9.1), con (13) es posible evaluar la constante de equilibrio:

$$K_{eq} = \frac{c_{eq,\beta}}{c_{eq,\alpha}} \quad (14)$$

$\alpha_0$  se obtiene por extrapolación hasta  $t = 0$  de la región correspondiente a los primeros tiempos (10 minutos aproximadamente) de la curva de  $\alpha$  vs.  $t$ .

Tabla I

Variación del ángulo de rotación de la luz plano-polarizada en el tiempo para la mutarrotación de la glucosa a pH = 3,3.

$t / \text{min}$	$\alpha / ^\circ$	$ \alpha_\infty - \alpha_t $	$\ln  \alpha_\infty - \alpha_t $
2	10,50	5,90	1,77
3	9,70	5,10	1,63
4	9,20	4,60	1,53
5	9,15	4,55	1,52
6	9,10	4,50	1,50
7	8,70	4,10	1,41
8	8,60	4,00	1,39
9	8,40	3,80	1,34
10	8,30	3,70	1,31
11	8,15	3,55	1,27
12	7,40	2,80	1,03
23	6,40	1,80	0,59
33	5,50	0,90	-0,11
43	5,10	0,50	-0,69
53	5,00	0,40	-0,92
63	4,80	0,20	-1,61
$\infty$	4,60		

Relación  $\alpha$  vs.  $t$

(hasta  $t = 12 \text{ min.}$ )

$r = -0,95$

intercepto =  $\alpha_0 = 10,4$

Relación  $\ln |\alpha_\infty - \alpha_t|$  vs.  $t$

(para todo el experimento)

$r = -0,99$

pendiente =  $K = -0,0543$

## Parte experimental

Se trabajó con disoluciones 0,1 g. mL<sup>-1</sup> de glucosa grado puro para análisis. La acción catalítica sobre el proceso se investigó para la zona ácida ajustando el pH con HCl a los valores: 1,3; 2,2; 3,3 y 4,5. El agua desionizada de trabajo tenía pH = 6,0.

Las mediciones de  $\alpha$  se realizaron en un polarímetro alemán p-GH Runofunik-Fernsehen que emite luz de 5893 Å utilizando cubetas de 10 cm para contener la disolución.

Al inicio, para evaluar  $\alpha_0$ , se tomaron lecturas del ángulo de rotación de la luz cada 1 minuto y durante 10 aproximadamente.

## Resultados y discusión

En la tabla I aparecen -a modo de ejemplo- los valores de  $\alpha$  medidos para la reacción catalizada a pH = 3,3 y el tratamiento estadístico matemático de los datos. Utilizando las 10 primeras lecturas para la relación  $\alpha$  vs.  $t$ , se determina el valor de  $\alpha_0$ . En este y los casos siguientes se emplea el método de ajuste lineal de los mínimos cuadrados para el trabajo con la data experimental.



Tabla II

Valores de la constante de equilibrio en función de las concentraciones ( $T = 25^\circ\text{C}$ ) para la reacción de mutarrotación de la glucosa.

EXPERIMENTO	$K_{eq}$
pH = 1,3	1,2
pH = 2,2	1,8
pH = 3,3	1,5
pH = 4,5	1,6
pH = 6,0	0,9

Valor medio = 1,4

$S^2 = 0,35$

Intervalo de confianza para la

$K_{eq}$  estimada con 95% de confianza:

[1,0 ; 1,8]

Comparación de los valores reportado ( $\mu$ )

(Finar 1978) y calculado ( $\bar{X}$ ) de la  $K_{eq}$

$$t_{exp.} = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \cdot \sqrt{n} = 1,92 < t_{(0,05;4)} = 2,78$$

En la tabla II se presentan los valores de  $K_{eq}$  calculados para los diferentes experimentos y según las relaciones (11), (13) y (14). Show y otros (Finar 1978), estudiando las soluciones acuosas de algunos monosacáridos por espectroscopía RMN, determinaron las cantidades de las formas  $\alpha$ - y  $\beta$ -piranosas en equilibrio, observando para el caso particular de la mutarrotación de la glucosa la presencia de la forma  $\alpha$  en un 36% en el equilibrio, de donde, y según (14), resulta que  $k_{eq} = 1,8$ .

La diferencia entre el valor de la  $K_{eq}$  obtenido en el presente estudio y el reportado por Show y otros no es significativa para un nivel de confianza del 95% (Tabla II).

El tratamiento empleado para el procesamiento de los datos experimentales (Tabla I) responde a la expresión (6) del epígrafe anterior. En la tabla III aparecen los valores obtenidos de  $K$  como la pendiente de la recta  $\ln |\alpha_{\infty} - \alpha_t|$  vs.  $t$  para las diferentes concentraciones del catalizador. Se presentan también los valores de  $k_1$  calculados según (2), una vez conocida la constante de equilibrio del proceso.

Los valores de velocidad específica  $K$  encontrados (Tabla III) son del orden de los obtenidos por Brönsted y Guggenheim (1927), quienes estudiaron por un método dilatométrico esta reacción en presencia de una solución reguladora de ácido o-toluico y o-toluido de sodio.

Tabla III

Constantes de velocidad específica de la reacción directa ( $k_1$ ) y del proceso total ( $K$ ) para diferentes concentraciones del catalizador y  $T = 25^\circ\text{C}$ .

$C_{H^+} / \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	$K / \text{min}^{-1}$	$k_1 / \text{min}^{-1}$
$5,01 \times 10^{-2}$	-0,0784	-0,0436
$6,31 \times 10^{-3}$	-0,0543	-0,0317
$5,01 \times 10^{-4}$	-0,0519	-0,0301
$3,16 \times 10^{-5}$	-0,0486	0,0284
$1,00 \times 10^{-6}$	0,0431	-0,0251

Para la relación  $K/\text{min}^{-1}$  vs.  $C_{H^+} / \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$

(en (4) se desprecia  $\kappa_{OH^-} \cdot c_{OH^-}$  porque  $c_{OH^-} \ll c_{H_3O^+}$ )

$$r = -0,96$$

$$\text{pendiente} = \kappa_{H^+} = -0,53$$

$$\text{intercepto} = -0,048$$

Correlacionando los valores de  $k$  vs.  $C_{H^+}$  (Tabla III) se calcula el coeficiente catalítico de los iones hidronio para la mutarrotación de la glucosa. Brönsted y Guggenheim (1927) obtuvieron para esta magnitud valores del orden de 0,1; cercanos al encontrado en este trabajo.

El carácter catalítico de la reacción en presencia de iones hidronio sugiere la participación de éstos en el paso determinante del mecanismo (Morrison y Boyd 1975) (Fig. 1) que tiene como etapa intermedia una estructura abierta.

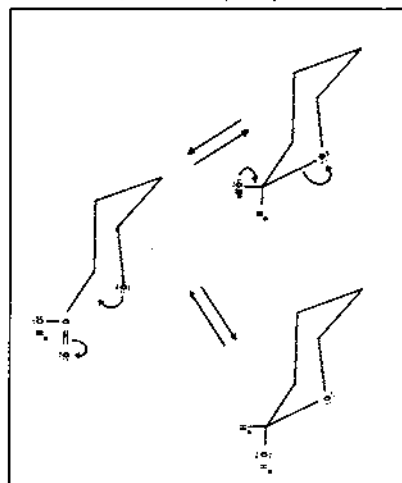
Los  $H^+$  del medio se intercambian dinámicamente con los pertenecientes a la estructura molecular de la glucosa (marcados en las fórmulas estructurales que representan el mecanismo). De aquí resulta evidente, y correspondiente con los resultados de la tabla III que la velocidad del proceso es mayor para los valores de pH pequeños bajo estas condiciones experimentales (zona ácida).

### Conclusiones

Un sencillo tratamiento estadístico-matemático de los resultados de un estudio polarimétrico de la mutarrotación de la glucosa permite una comprensión completa (termodinámico-cinética) de esta reacción, que se sintetiza y generaliza al analizar los cambios estructurales ocurridos durante el proceso (en su mecanismo).

Figura 1

Representación del mecanismo de la mutarrotación de la glucosa en medio ácido (Morrison y Boyd 1975).



Enfoques y tratamientos de este tipo, llevados a cada actividad docente, incorporados a la concepción misma de los cursos de química física permiten superar las limitadas interpretaciones y las separaciones metafísicas de los métodos (termodinámico, cinético y estructural) de investigación de la reacción química.

### Referencias bibliográficas

- Brönsted, R., Guggenheim, F.J., 1927. *Amer. Chem. Society*, 49, 2554.
- Davidenko, N. y Galego, N., 1984. *Métodos experimentales de cinética química*. (Editorial Educación Superior: La Habana).
- Ferro Fernández, V.R. *La Cinética y la termodinámica: unidad y diferencia. Un enfoque histórico*. (En publicación).
- Ferro Fernández, V.R., *Un enfoque segundo principio de la termodinámica del proceso de activación molecular en la reacción química*. (En publicación).
- Finar, I.L., 1978. *Química orgánica*. Tomo 2. (Pueblo y Educación: La Habana).
- Gorbachev, S.V. et al., 1977. *Prácticas de química física*. (MIR: Moscú).
- Guerasimov, Y. et al., 1979. *Curso de química física*. Tomo 2. (MIR: Moscú).
- Morrison, R.T. y Boyd, R.N., 1975. *Organic Chemistry*. (Pueblo y Educación: La Habana).
- Wolfenden, J.H., 1956. *Problemas de química física superior*. (Aguilar: Madrid).