

## Una revisión bibliográfica: Existencia y persistencia de errores en las figuras de apoyo en el estudio del péndulo simple

Julio V. Santos-Benito ([jsb@ua.es](mailto:jsb@ua.es)) and Albert Gras-Marti ([agm@ua.es](mailto:agm@ua.es))

Departament de Física Aplicada, Universitat d'Alacant,  
Apt. 99, E-03080 Alacant

Este trabajo ofrece, por una parte, el resultado de una encuesta relativa al péndulo simple propuesta a alumnos de enseñanza universitaria y, por otra, una revisión del tratamiento gráfico que aparece en el estudio de la dinámica de este péndulo en los libros más recomendados a los alumnos. Se plantea la hipótesis de la relación entre este tratamiento y las interpretaciones incorrectas formuladas por los alumnos.

En la Facultad de Ciencias de la Universidad de Alicante impartimos la asignatura *Didáctica de la Física*, optativa para los alumnos de los cursos 3º y 4º de la licenciatura en Química.

Antes de abordar la revisión didáctica de una parte de la Física o de un fenómeno físico en particular, presentamos a nuestros alumnos una encuesta relativa a esa parte de la Física para que la cumplimenten de una manera anónima e individual.

Con ello perseguimos dos objetivos. El primero, que cada alumno tome conciencia sobre el conocimiento que tiene acerca del fenómeno objeto de estudio. El segundo, obtener el perfil del grupo en relación al conocimiento de ese fenómeno. A partir de este perfil el profesor solicita de los alumnos que justifiquen las respuestas erróneas más frecuentes para llegar a la correcta interpretación del fenómeno, a través del debate alumno/alumno o alumno/profesor.

Así, en la encuesta que nos sirvió de punto de partida para el estudio de la dinámica se solicitó de los alumnos que dibujaran el diagrama de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo suspendido que oscila entre los puntos A y A' (péndulo simple) para cada una de las posiciones A, B y C (fig. 1), así como las componentes de esas fuerzas que, en su caso, por ser iguales y opuestas pudieran anularse y la resultante de todas las fuerzas actuantes. Al propio tiempo se pidió a los alumnos que trataran de reflejar en el diagrama la magnitud relativa de las fuerzas actuantes en tanto que fueran simplemente mayores, menores o iguales unas a otras.

Una gran mayoría de alumnos identificó correctamente las fuerzas actuantes en los puntos A, B y C: la tensión **T** y el peso **P** (fig. 2). Sin embargo, también una gran mayoría no encuentra diferencia entre las posiciones A, B y C en cuanto a la magnitud de las fuerzas asignando, en los tres casos, la misma magnitud a **T** que a la componente normal del peso **P<sub>N</sub>**, lo que únicamente es

correcto en la posición **A** ya que en cualquier otra posición entre **A** y **A'** es  $T > P_N$ .

En consecuencia, *para una gran mayoría de alumnos* la resultante de todas las fuerzas actuantes es, en todo momento, tangente a la trayectoria descrita por el cuerpo en su movimiento excepto en la posición **C** en que la identifican como nula, siendo preciso señalar el elevadísimo índice de respuestas incorrectas en esta posición.

En nuestra opinión, las interpretaciones erróneas de los alumnos podrían estar influidas por la bibliografía más utilizada por los alumnos ya que es frecuente encontrar figuras de apoyo para el estudio del péndulo simple tales que siendo correctas quizá no sean las más adecuadas ya que pueden inducir a error en el lector, o bien son incorrectas en sí mismas.

Al primer grupo pertenece la obra de **Resnick, R. y Halliday, D.** (1983). Estos autores exponen correctamente la necesidad de la existencia de una componente radial para mantener el movimiento circular. Sin embargo, aunque en la figura de apoyo describen también correctamente el diagrama de fuerzas actuantes, sin embargo lo hacen para la particular posición correspondiente a la elongación máxima, **única posición en la que no existe componente radial por ser T igual y opuesta a  $P_N$** . Un análogo diagrama utiliza **Sears, F.W.** (1967). En una edición posterior **Resnick, R. y Halliday, D.** (2001) modifican incorrectamente el diagrama al dar a la componente normal  $F_g \cos \alpha$  una dimensión sensiblemente mayor que la de **T**. De este modo, es fácil que los alumnos incurran en error si reproducen este diagrama de fuerzas para todas las posiciones ocupadas por el cuerpo en su oscilación, ya que para cualquier posición distinta de **A** y **A'**, por no ser nulos ni la velocidad ni el radio, ha de existir una componente normal centrípeta y ésta la va a proporcionar la **mayor magnitud de T frente a la de  $P_N$** .

En el segundo grupo de obras, aquellas que se apoyan en figuras incorrectas, hemos de incluir la de **Alonso, M. y Finn, E.** (1970). En ella los autores construyen el diagrama de fuerzas correspondiente a una posición distinta de la de máxima elongación dibujando la componente normal del peso  **$F_N$  ¡sensiblemente mayor que la tensión T!** En una edición más reciente (1995) estos autores modifican la figura pero *amortiguan* el error en lugar de corregirlo ya que en una posición  $\theta = \theta_0$  dibujan la componente  **$P_N$**  prácticamente igual que la tensión **T**. En análogas e incorrectas figuras se apoyan **Sears, F.W.** (1981) y **Gerthsen, Kneser y Vogel** (1979). De los diagramas de fuerzas se infiere que la resultante, y por lo tanto también la aceleración, deberían ser tangenciales a la trayectoria en todo momento, lo cual es del todo punto incorrecto ya que esa resultante se va *elevando* a medida que el cuerpo desciende en su trayectoria hasta alcanzar la vertical en la posición central **C**. Sin embargo, **Gerthsen, Kneser y Vogel** (1979) no tienen ningún pudor al dibujar el vector aceleración ¡tangente a la trayectoria! en una posición distinta de la de máxima elongación.

**Tipler, P.A.**, en su edición de 1977, asigna a la componente normal del peso

$mg \cos a$  una dimensión ligeramente mayor que a la tensión  $T$ . En su edición de 1992 modifica la figura asignando, también incorrectamente, dimensiones iguales para la componente normal del peso y para la tensión  $T$  en una posición intermedia de la trayectoria. En su última edición, **Tipler, P.A.** (1999) modifica el diagrama de fuerzas pero no para corregir su error sino para confundir más al lector ya que asigna a la componente normal un valor ¡sensiblemente mayor que la tensión  $T$ ! también para una posición intermedia. Por su parte **Roller, D.E. y Blum, R.** (1986) asignan mayor magnitud a la tensión  $F$  que a la componente normal del peso ¡en una posición en la que  $\theta = 0$ !

En conclusión, en ninguna de las obras consultadas se dibuja correctamente el diagrama de fuerzas para una posición distinta de la correspondiente a elongación máxima, existiendo en todos los casos una gran confusión debida a la magnitud relativa de las fuerzas actuantes representadas por los autores en sus figuras de apoyo. A la vista de esta revisión nos permitimos citar la reflexión que hace **D. L. Wallach** ( ) en su artículo *Halliday and resnick Physics Trough the Years*:

*If you are an author of books  
You'd better beware of what cooks.  
The figures you draw  
You think have no flaw  
Until viewed by a student who looks.*

## **Referencias**

- Alonso, M. y Finn, E., 1970. Física. (Fondo Educativo Interamericano: México).
- Alonso, M. y Finn, E., 1995. Física. (Addison-Wesley Iberoamericana, S.A.: U.S.A).
- Gerthsen, Kneser y Vogel, 1979. Física. (Editorial Dossat S.A. Madrid. España)
- Resnick, R. y Halliday, D., 1983. Física. (Editorial Continental: México).
- Roller, D.E. y Blum, R., 1986. Física. (Editorial Reverté: Barcelona).
- Sears, F.W., 1967. Mecánica, calor y sonido. (Editorial Aguilar: Madrid).
- Sears, F.W., Zemansky, M.W y Young, H. D., 1981. Física. (Editorial Aguilar: Madrid).
- Tipler, P.A., 1992. Física. (Editorial Reverté: Barcelona).
- Tipler, P.A., 1999. Física. (Editorial Reverté: Barcelona).
- Wallach, D. L. *The Physics Teacher*, vol 31, nov. 1993.

## Figuras

Fig. 1: Three points, A, B and C, in the trajectory of a simple pendulum that oscillates between A and A'.

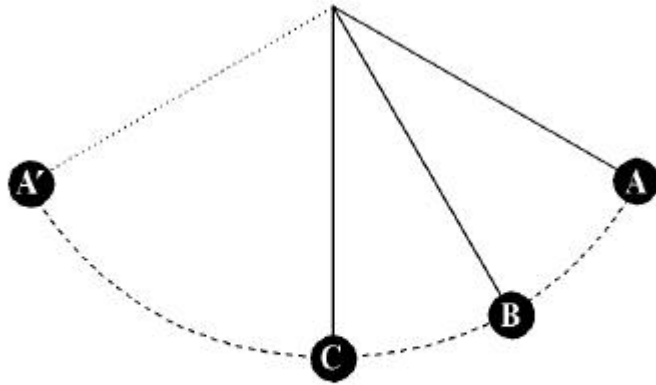


Fig. 2: Mass weight, string tension, normal and tangential components of the weight, and the resulting total force (and, therefore, the direction of the resulting acceleration) for points A, B and C in fig. 1.

