

La física del pájaro bebedor

Julio Güémez

Departamento de Física Aplicada, Universidad de Cantabria, Santander, España. guemezj@unican.es

[Recibido en noviembre de 2009, aceptado en febrero de 2010]

Se describe el comportamiento de un pájaro bebedor y también el de un pájaro solar, una variante iluminada y sin agua del pájaro original. Se proponen algunos experimentos que puedan servir para motivar a los alumnos a descubrir, siguiendo un método deductivo, las bases científicas del funcionamiento de ambos dispositivos.

Palabras clave: Máquina térmica; Humedad relativa del aire.

The physics of the drinking bird

A drinking bird behavior is described, as well as a sun bird, a sunlight and dry variant of the previous. Several experiments are suggested to be used with students to stimulate them to discover the physics on which the behavior of both devices are based, following a deductive method.

Keywords: Thermal engine; Relative humidity of air.

El pájaro bebedor -*Drinking bird* o *drinking duck* en inglés- es un juguete bastante conocido (Bachhuber 1983) y con cierto interés científico. En la figura 1 aparecen dos modelos de pájaro bebedor.

Este dispositivo se mueve, se balancea periódicamente, sin partes móviles aparentes y sin un origen claro de la fuente de energía que lo mantiene en movimiento, pues el agua del vaso en la que moja su pico se encuentra a temperatura ambiente. Una vez se pone a oscilar continúa haciéndolo, siempre que no le falte provisión de agua en el vaso y pueda alcanzarlo con su pico (Güémez *et al.* 2009).

En la figura 2 se muestra un esquema del pájaro bebedor. El pájaro propiamente dicho consta de dos bulbos de vidrio, uno inferior y otro superior, unidos por un tubo vertical también de vidrio. En el centro del tubo, por el exterior, se tiene acoplada una barra metálica, o fulcro, que se apoya en unos soportes o patas de tal forma que el conjunto del pájaro pueda cabezear y oscilar. En el interior del bulbo inferior, o cuerpo, hay un líquido coloreado, cloruro de metileno u otro líquido volátil a temperatura ambiente, que llena algo más de la mitad del bulbo inferior o cuerpo. El tubo de vidrio vertical se sumerge en el líquido hasta casi llegar al fondo del cuerpo. El bulbo superior, o cabeza, unido directamente al tubo, está recubierto de un fieltro poroso y tiene una pequeña protuberancia, o pico, también recubierta de fieltro, que le inclina ligeramente hacia adelante. Un sombrero se encuentra sobre la cabeza, cubriendo y ocultando una protuberancia picuda.

Para hacerlo funcionar, se coloca el pájaro bebedor, inicialmente en posición vertical, al lado de un vaso con agua, de tal forma que en posición horizontal el pájaro tenga un tope pero su pico se introduzca en el agua. Se moja el fieltro de su cabeza con agua y se espera. Al cabo de



Figura 1. Dos modelos del pájaro bebedor. Cuando la cabeza se moja, el pájaro irá inclinandose hasta perder el equilibrio, llevar su pico hasta el agua, volver a elevarse, oscilar durante algunos instantes, y repetir el ciclo.

poco tiempo el líquido comienza a ascender por el tubo, el pájaro empieza a inclinarse hacia adelante, termina por caer, alcanza la horizontal apoyándose en el borde del vaso, moja su pico en el agua y vuelve a levantarse, oscilando, primero rápidamente, hasta casi pararse y volver a repetir el ciclo.

Un hervidor de mano (figura 3) es un dispositivo en, casi, todo semejante al pájaro bebedor, excepto en el fulcro y el fieltro del bulbo superior. Consta también de dos bulbos, de un tubo que los une -aunque de forma más alambicada-, del mismo tipo de líquido y de la misma disposición del tubo en el bulbo inferior.

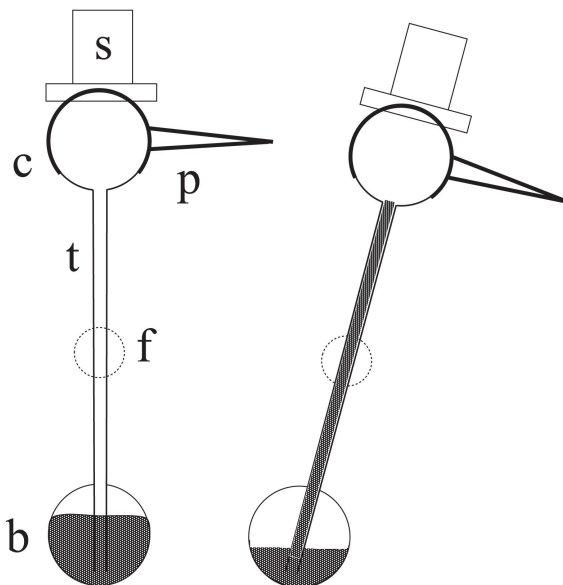


Figura 2. Esquema del pájaro bebedor. (c) Cabeza, hueca, con un fieltro a su alrededor, sombrero (s) y un pico (p), también cubierto de fieltro. El cuerpo (b) está inicialmente medio lleno de líquido y un tubo hueco (t), que le conecta con la cabeza, llega casi hasta su fondo. A medida que el líquido asciende por el tubo, el pájaro gira alrededor del fulcro (f) y descende su cabeza sobre un recipiente con agua.



Figura 3. Hervidor de mano (*hand boiler*, en inglés). Con el líquido en su bulbo inferior, si éste se cubre con la mano, el líquido se evapora, aumenta su presión, y asciende por el tubo que conecta ambos bulbos, manteniéndose en el bulbo superior mientras la mano rodea el bulbo inferior.

La parte puntiaguda del bulbo superior del hervidor de mano, que en el pájaro bebedor se encuentra escondida justo debajo del sombrero, indica que se trata de un tubo anterior que ha sido utilizado para hacer el vacío -es decir, una bomba de vacío ha extraído todo el aire del interior del pájaro, dejando sólo vapor del líquido volátil- y que luego se ha cerrado a la llama, para evitar que vuelva a entrar aire. Es fundamental que no haya nada de aire dentro del hervidor, ni del pájaro, pues en caso contrario el líquido que asciende deberá comprimir dicho aire y no logrará subir.

Cuando la mano, a la temperatura de unos 30 °C, acoge suavemente el bulbo inferior, a la temperatura ambiente, el líquido asciende hasta la cabeza. Se trata, pues, de una máquina térmica, ya que se produce la conversión de calor en energía potencial gravitatoria, que puede ser convertida, a su vez, en trabajo mecánico, gracias al establecimiento de una diferencia de temperaturas.

Para intentar entender los fundamentos físicos del comportamiento del pájaro bebedor (Güémez *et al.* 2003a) se proponen los siguientes experimentos.

1. Mostrar un hervidor de mano, demostrar que es semejante al pájaro bebedor y comentar el funcionamiento de aquel. En caso de no disponer de un hervidor de mano, se enseña el propio pájaro bebedor y se indica cómo calentando con la mano el cuerpo, el líquido asciende hasta la cabeza.
2. Colocar agua en el vaso, mojar bien la cabeza y medir el período de oscilación (por ejemplo, el intervalo de tiempo que transcurre entre 11 descensos sucesivos para beber, dividido por 10) del pájaro.
3. Colocar alcohol etílico en el vaso (comprobar primero que no destiñe la pintura del pico del pájaro) y cuando haya alcanzado el estado estacionario, medir su nuevo período. Se comprobará que éste es menor que el primero.
4. Con agua en el vaso (y el pájaro bien asegurado), colocar el pájaro en un flujo de aire (un ventilador, un secador) a un metro de distancia. Se observa que el período disminuye considerablemente.
5. Se coloca el pájaro en una cámara de vacío pequeña (o bajo una campana de cristal, o en el interior de un desecador de vidrio de laboratorio de química). Se observará que al cabo de pocos minutos dejará de oscilar.
6. Se hace el vacío con una bomba en la cámara de vacío. El pájaro oscilará rápidamente durante un tiempo para ir deteniéndose poco a poco.

Una variante del pájaro bebedor es el pájaro solar *sunbird*, en inglés (Güemez *et al.* 2003b). Un pájaro solar se construye pintando de negro el cuerpo inferior del pájaro bebedor y eliminando el agua, dejando el vaso vacío. Para el pájaro solar se proponen los siguientes experimentos, complementarios de los anteriores y, en un sentido pedagógico, pueden ayudar a entender el funcionamiento del pájaro bebedor.

1. Se coloca el pájaro de tal forma que el sol o la luz de una lámpara ilumine exclusivamente la parte inferior pintada de negro (en su caso, hay que proteger con un escudo reflectante la parte superior). El pájaro oscilará del mismo modo que lo hace el pájaro bebedor.
2. Alejar la bombilla del pájaro. El período entre bajadas aumentará a medida que la luz se aleja del cuerpo del pájaro.

¿Qué es lo que hace que el pájaro bebedor funcione? La clave de su funcionamiento, difícil de ver, pues es transparente, es la humedad del aire. O más precisamente, la baja humedad del aire. Con poca humedad funciona muy bien, con alta humedad, muy mal o no funciona.

Con el líquido en la parte baja del cuerpo y la cabeza sin humedecer, el pájaro se comporta como un tentetieso (equilibrio estable) con su centro de gravedad por debajo del fulcro (torques recuperadores y oscilaciones periódicas en caso de perturbación). El bulbo inferior está lleno casi hasta la mitad del líquido volátil.

Las claves del funcionamiento del pájaro bebedor son las siguientes:

1. La cabeza se humedece un poco con la ayuda de un cuentagotas. Si el aire no se encuentra saturado de humedad, *i. e.*, si la humedad del aire a esa temperatura es menor del 100 %, algo de agua líquida de la cabeza tiende a evaporarse. Cuando el fieltro de la cabeza se humedece, si el aire no se encuentra saturado de humedad, parte del agua se evapora. Para conseguir la energía necesaria, el agua toma energía de la cabeza, dando lugar a un descenso (0,5 °C) en la temperatura de la cabeza del pájaro respecto de la temperatura ambiente.

2. La presión del vapor del líquido volátil decrece rápidamente al disminuir la temperatura. Aunque la variación de temperatura es pequeña, debido a que la presión de vapor crece exponencialmente con la temperatura y a que el líquido está próximo a su temperatura de ebullición, se establece una importante diferencia de presión entre la cabeza y el cuerpo del pájaro.
3. La mayor presión de vapor sobre el líquido en el cuerpo respecto de la cabeza hace ascender el líquido por el tubo hasta que la diferencia de presiones cuerpo-cabeza del pájaro equilibra una columna de líquido de la altura del pájaro. Por tanto, se necesita que el tubo llegue casi al fondo del líquido contenido en el bulbo inferior (pues de otra manera la diferencia de presiones no obligaría al líquido a subir –en caso de que el tubo no fuese casi hasta el fondo habría que esperar a que el líquido inferior se condensase en la cabeza, lo cual es un proceso muy lento–) y que el líquido tenga un punto de ebullición cercano a la temperatura ambiente, pues si la temperatura de ebullición del líquido está muy alejada de la ambiente la diferencia de presiones no es suficiente como para conseguir elevar el líquido hasta la cabeza.
4. Cuando el líquido asciende lo suficiente por el tubo como para que el centro de gravedad del pájaro se encuentre por encima del fulcro, aparece un torque que amplifica la perturbación, el equilibrio se hace inestable y el centro de gravedad tiende a descender. El pájaro oscila, y con el centro de gravedad, ligeramente adelantado debido al peso del pico, cae sobre el vaso y moja el fieltro del pico en el agua.
5. Con el pájaro casi en horizontal, su cabeza y cuerpo se ponen en contacto directo, las presiones del vapor se equilibran, el líquido de la cabeza refluye y se vuelve a la situación inicial, punto 1. Así, aunque no haya agua en el vaso, con la cabeza mojada el pájaro bebedor puede funcionar durante bastante tiempo, dependiendo de la humedad, pero puede ser más de una hora en condiciones de baja humedad, hasta que el agua en su cabeza se haya evaporado.

Si el pájaro bebedor se coloca bajo una campana de cristal -u otro recipiente herméticamente cerrado-, la humedad del recinto alcanza rápidamente la saturación, la humedad alcanza la saturación, pues el agua se evapora también del vaso, el agua deja de evaporarse en la cabeza del pájaro, la cabeza deja de enfriarse, deja de haber diferencia de temperaturas cuerpo-cabeza y al no haber diferencia de temperaturas no hay producción de trabajo mecánico, por lo que el pájaro deja de oscilar al cabo de pocos minutos. Cuando la campana se retire, la humedad relativa del aire a su alrededor desciende y el pájaro vuelve a oscilar en pocos segundos. Y como en los días calurosos del verano la humedad es muy baja, el agua se evapora rápidamente en su cabeza y el proceso de oscilación tiene un período muy bajo. En el caso del pájaro solar la diferencia de temperaturas no se obtiene enfriando la cabeza mientras el cuerpo permanece a temperatura ambiente, sino calentando el cuerpo mientras la cabeza permanece a temperatura ambiente. Pero la diferencia de temperaturas se consigue igual y en el mismo sentido, por lo que el líquido también asciende en este caso. Con este mecanismo, que no tiene la limitación de la diferencia de temperaturas que puede alcanzarse con la humedad, se pueden construir pájaros solares de hasta 1 m de longitud (Güémez *et al.* 2004).

El pájaro bebedor es una máquina térmica que utiliza el hecho de que el vapor de agua no satura de humedad el aire sobre la cabeza mojada del pájaro. Ésta no saturación de la humedad induce un gradiente de concentración que da lugar a la evaporación del agua en su cabeza, que, a su vez produce una diferencia de temperatura entre ésta y el cuerpo del pájaro. La diferencia de temperatura induce una diferencia de presión, la cual, elevando el líquido,

produce finalmente, al cerrar el ciclo retrocediendo cuando el pájaro se inclina, un trabajo mecánico.

Referencias

- Bachhuber C. (1983) Energy from the evaporation of water. *American Journal of Physics* 51, 259-264.
- Güemez J., Fiolhais C., Fiolhais M. (2009) Toys in physics lectures and demonstrations – A brief review, *Physics Education* 44, 53-64.
- Güemez J., Valiente R., Fiolhais C., Fiolhais M. (2003) Experiments with the drinking bird, *American Journal of Physics* 71, 1257-1263.
- Güemez J., Valiente R., Fiolhais C., Fiolhais M. (2003) Experiments with a sunbird, *American Journal of Physics* 71, 1264-1267.
- Güemez J., Valiente R., Fiolhais C., Fiolhais M. (2004) A Big Sunbird, *The Physics Teacher* 42, 307-309.