



EL TOMATE QUE NO FLOTA EN AGUA: UNA POSIBLE SECUENCIA PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO DE INGRAVIDEZ

TOMATO THAT DOESN'T FLOAT IN WATER: A POSSIBLE SEQUENCE FOR ACTIVE LEARNING OF WEIGHTLESSNESS

O TOMATE QUE NÃO FLUTUA NA ÁGUA: UMA POSSÍVEL SEQUENCIA PARA A APRENDIZAGEM ATIVA DA NÃO GRAVIDADE

Josip Slisko*

Cómo citar este artículo: Slisko, J. (2021). El tomate que no flota en agua: una posible secuencia para el aprendizaje activo de ingravidez. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 16(1), 38-45. DOI: <https://doi.org/10.14483/23464712.16657>

Resumen

Es conocido que los tomates flotan en el agua. Usando un tornillo o clavo y un imán de neodimio es posible cambiar tal comportamiento, manteniendo un tomate en el fondo de una botella llena de agua. Se solicita que los estudiantes, quienes no conocen tal procedimiento, propongan sus propios procedimientos para lograr la situación descrita. Al llegar a conocer el procedimiento mencionado, por propio pensamiento creativo o, más probable, por la revelación del docente, se solicita que los estudiantes predigan el comportamiento del tomate al remover el imán de neodimio. Finalmente, los estudiantes deben predecir el comportamiento del tomate si simultáneamente se remueve el imán de neodimio y se deja caer la botella. Como en la caída libre, dentro de la botella no hay campo gravitacional y el agua deja de ejercer la fuerza de empuje, el tomate se queda en el fondo de la botella sin la presencia del imán. Tal acontecimiento es una nueva demostración de ingravidez para las aulas de física. Puede servir como el punto de partida para construir un conocimiento transferible sobre la ausencia del campo gravitacional interno en los sistemas en caída libre.

Palabras clave: Ingravidez; Caída libre; Fuerza de empuje; Aprendizaje activo

Recibido: 13 de julio de 2020; aprobado: 9 de octubre de 2020

* Ph.D. en Filosofía de la Física. Profesor titular de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel II). Estudia la construcción, por parte de los estudiantes, de modelos explicativos y predictivos de los fenómenos físicos, y su lucha por superar el "pensamiento rápido" en la resolución de los rompecabezas matemáticos. Desde 1993 organiza el taller internacional "Nuevas tendencias en la enseñanza de la física". E-mail: jslisko@fcfm.buap.mx - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5805-4808>

Abstract

It is known that tomatoes float in water. Using a screw or nail and a neodymium magnet it is possible to change such behavior by keeping a tomato in the bottom of a bottle filled with water. Students, who do not know such a procedure, are asked to propose their procedures to achieve the described situation. Upon learning about the mentioned procedure, by their creative thinking or by the teacher's revelation, students are asked to predict the tomato's behavior after the neodymium magnet is removed. Finally, students should predict the tomato's behavior if the neodymium magnet is simultaneously removed and the bottle is dropped. As in free fall, inside the bottle, there is no gravitational field and the water stops exerting the buoyant force, the tomato remains at the bottom of the bottle without the presence of the magnet. That event is a new demonstration of weightlessness for physics classrooms. It can serve as a starting point for the construction of transferable knowledge about the absence of internal gravitational field in free-falling systems.

Keywords: Weightlessness; Free fall; Buoyant force; Active learning

Resumo

Tomates são conhecidos por flutuar na água. Usando um parafuso ou prego e um ímã de neodímio, é possível alterar esse comportamento, mantendo um tomate no fundo de uma garrafa cheia de água. Os alunos, que não conhecem esse procedimento, são solicitados a propor seus próprios procedimentos para alcançar a situação descrita. Ao aprender sobre o procedimento mencionado, pelo seu próprio pensamento criativo ou, mais provavelmente, pela revelação do professor, os alunos devem prever o comportamento do tomate ao remover o ímã de neodímio. Finalmente, os alunos devem prever o comportamento do tomate se o ímã de neodímio for removido simultaneamente e a garrafa cair. Como em queda livre, dentro da garrafa não há campo gravitacional e a água para de exercer força de empuxo, o tomate permanece no fundo da garrafa sem a presença do ímã. Tal evento é uma nova demonstração da não gravidade nas aulas de física. Pode servir como ponto de partida para a construção de um conhecimento transferível sobre a ausência do campo gravitacional interno nos sistemas de queda livre.

Palavras chave: gravidade zero, força de empuxo, aprendizagem ativa.

Introducción

Para mejorar la enseñanza de las ciencias, existen diferentes tipos de estrategias socio-constructivista: “aprendizaje por descubrimiento”, “cambio conceptual”, “enseñanza por investigación entorno a problemas” y “enfoques CTS” (Jiménez-Tenorio & Oliva, 2016). Aunque las investigaciones han demostrado su eficacia didáctica, esas estrategias no se han aplicado en la enseñanza de todos los contenidos de física escolar. Su ausencia es especialmente preocupante en el caso del importante y controversial concepto de ingravidez. La establecida estrategia de introducir tal concepto en la gran mayoría de los libros de texto de física es usar un “experimento pensado” en que una persona mide su peso usando báscula colocada en el piso de un elevador en reposo y en la caída libre (Balukovic, Slisko & Corona, 2017). En lugar de tener experiencias directas sobre varios eventos observables relacionados con ingravidez en caída libre, los estudiantes deben creer en lo que dice el libro de texto sobre la lectura “cero” de la báscula y “comprender” tal hecho mediante manipulación de las fórmulas matemáticas.

Son muy pocos libros de texto de física en que los autores proponen a los estudiantes conocer y explicar la más popular demostración de ingravidez en la caída libre: el chorro de agua sale de una botella estacionaria, con un orificio cerca de su fondo, y deja de salir de ella en caída libre (Balukovic & Slisko, 2018).

Al investigar las explicaciones de los estudiantes de por qué el chorro de agua deja salir en caída libre, se nota la presencia de interesantes modelos explicativos (Balukovi & Sliško, 2016; Balukovic & Slisko, 2019). Uno es: el agua deja de salir de la botella porque en la caída libre se eleva por arriba del orificio. Para tal comportamiento de agua, los estudiantes son capaces de proporcionar argumentos: “el agua es más pesada que la botella de plástico y cae más lentamente”. También, proponen nuevos experimentos para apoyar su explicación basada en la idea de que el agua se eleva en caída libre: “Llenar completamente una botella sin orificio con

agua y dejarla caer. En la caída, el agua saldrá por la boca de la botella” (Balukovic & Slisko, 2019).

Esos resultados demuestran que valdría la pena diseñar diversas secuencias de aprendizaje activo del concepto de ingravidez en caída libre e implementarlas en el aula de física. Los resultados logrados en el aprendizaje de los estudiantes darán una información importante acerca de sus manera de pensar sobre diferentes manifestaciones observables de ingravidez que son posibles en el aula. La secuencia que se propone en este artículo usa el hecho experimental: el agua en la caída libre no ejerce la fuerza de empuje (Kruglak, 1963; Breslow, 1974; Slisko & Planinsic, 2010).

La base didáctica y experimental de la secuencia

Para que aprenden los conceptos de física y que, a la vez, practiquen el pensamiento científico, los estudiantes deben “hacer física”, a través de la participación activa en las prácticas de observaciones, descripciones, explicaciones y predicciones de los fenómenos físicos (Etkina, 2019). En esta secuencia, se propone usar dos de estas prácticas científicas: explicaciones y predicciones. Además, se sugiere introducir un evento discrepante (el tomate que no flota en agua) para activar el pensamiento creativo de los estudiantes y agregar un toque recreativo a la secuencia (Molina, 2011).

En las previas demostraciones, diseñadas para que los estudiantes en el aula perciban la ausencia de la fuerza de empuje en el agua, se usaban arreglos experimentales cuya construcción no era trivial:

- (1) Un corcho en tubo de plástico largo, cerrado en ambos extremos y lleno de agua (Kruglak, 1963);
- (2) Un globo inflado, forzado a estar por debajo de la superficie de agua mediante un resorte atado a la tapa de una botella de plástico (Slisko & Planinsic, 2010);
- (3) Un gran globo inflado y montado sobre un contenedor plástico lleno de agua en que sumerge un corcho con una aguja larga que no alcanza el globo cuando el corcho está en el fondo (Breslow, 1974).



Figura 1. Materiales necesarios para la secuencia recreativa de aprendizaje activo de ingravidez. Fuente: autor.

Los artefactos experimentales que se usan en la secuencia propuesta se construyen fácilmente. Los materiales necesarios son: una botella de plástico transparente, un tomate, un imán de neodimio y un tornillo ferromagnético (Figura 1). Es fácil conseguirlos y los que se compran (tornillo e imán de neodimio) tienen un precio bajo.

Las primeras prácticas explicativas

El primer paso sería mostrar a los estudiantes una foto de la botella con agua en que flota un tomate (Figura 2). Tal situación se ha realizado y fotografiado antes de la clase.

La primera pregunta sobre una situación física, que se pretende explorar conceptualmente, siempre debe ser aquella a que los estudiantes fácilmente den una respuesta. En este caso tal pregunta es:

¿Por qué el tomate flota en el agua?

Probablemente, los estudiantes darán una respuesta memorizada en términos de la densidad: La densidad del tomate es menor que la densidad del agua. Aunque la respuesta es formalmente correcta, teniendo en mente el desarrollo de la secuencia que se

propone, sería útil conectar la flotación del tomate con la acción de la fuerza de empuje.

Por eso la siguiente pregunta sería:

¿Por qué el tomate está en reposo?

Algunos estudiantes suelen decir que el tomate está en reposo debido a la ausencia de las fuerzas, activando la conocida concepción alternativa: no hay movimiento – no hay fuerzas (Benegas et al., 2010). A través de la discusión, se debería llegar a una mejor respuesta, pasando de la ausencia de fuerzas al equilibrio de fuerzas. Cuando el tomate flota, la intensidad la fuerza de empuje (dirigida hacia arriba) es igual a la intensidad de la fuerza gravitacional (dirigida hacia abajo).

Un interludio recreativo con el pensamiento creativo

Este interludio recreativo que explora la creatividad de los estudiantes seguiría después de que los estudiantes tengan ideas correctas acerca de las fuerzas que actúan sobre el tomate.

En el comienzo se demuestra a los estudiantes un arreglo, previamente preparado, en donde el tomate está en el fondo de la botella (Figura 3). Es un evento discrepante que desafía la intuición de los



Figura 2. La foto de un tomate que flota en agua.

Fuente: autor.



Figura 3. El evento discrepante: el tomate está en el fondo de la botella. Fuente: autor.

estudiantes y aumenta su motivación para aprender (González-Espada et al., 2010).

La pregunta para activar el pensamiento creativo es: ¿Cómo se pudo haber hundido el tomate y cómo se mantiene en el fondo de la botella?

Seguramente habrá muchas respuestas diferentes que muestran claramente un rico espectro de creatividad de los estudiantes. Las respuestas dominantes serían basadas en los supuestos cambios de la densidad, debido a que tal concepto se usa casi únicamente para “explicar” porqué los cuerpos flotan (tienen menor densidad que el líquido) o se hunden (tienen



Figura 4. El secreto revelado: el imán de neodimio mantiene el tomate en el fondo. Fuente: autor.

mayor densidad que el líquido).

Muy pocos escaparían tal “trampa mental” creada por la enseñanza. Ellos serán capaces de encontrar la solución: una pieza metálica (clavo, tornillo, ...) se ha insertado en el tomate y un imán de neodimio se usó para hundir el tomate hasta el fondo. Fuerza magnética atractiva y fuerza gravitacional, ambas actuando hacia abajo, mantienen el tomate en el fondo, equilibrando la fuerza de empuje y la fuerza de reacción del fondo que actúan hacia arriba. En el caso probable, si ningún estudiante llega a esta solución, hay que revelar el secreto, tomando la botella y mostrando que hay un imán de neodimio escondido debajo del fondo de la botella que mantiene el tomate, con el tornillo insertado, “pegado” al fondo (Figura 4).

La primera predicción

Ahora vendría la pregunta:

¿Qué pasará si el imán de neodimio se aleja del fondo?

Es recomendable ofrecer las posibles respuestas:

- (a) Se queda en el fondo.
- (b) Se eleva hasta la mitad de la botella.
- (c) Se eleva hasta la superficie de la botella.

Algunos estudiantes dirían que se quedará en el fondo. Su argumento sería:

Ahora el tomate con un tornillo insertado pesa más y debido al peso aumentado no puede flotar y seguirá hundido (Yin et al., 2008).

Sin embargo, habrá los estudiantes quienes ofrecerán la respuesta correcta:

El tomate se moverá hasta la superficie de agua y allí flotará.

El experimento demuestra que esa predicción describe lo que realmente pasa al alejar el imán de la botella (figura 5).

La segunda predicción

Para solicitar la segunda predicción, se prepararía de nuevo la situación en que el tomate está en el fondo de la botella, atraído por el imán de neodimio (figura 6).

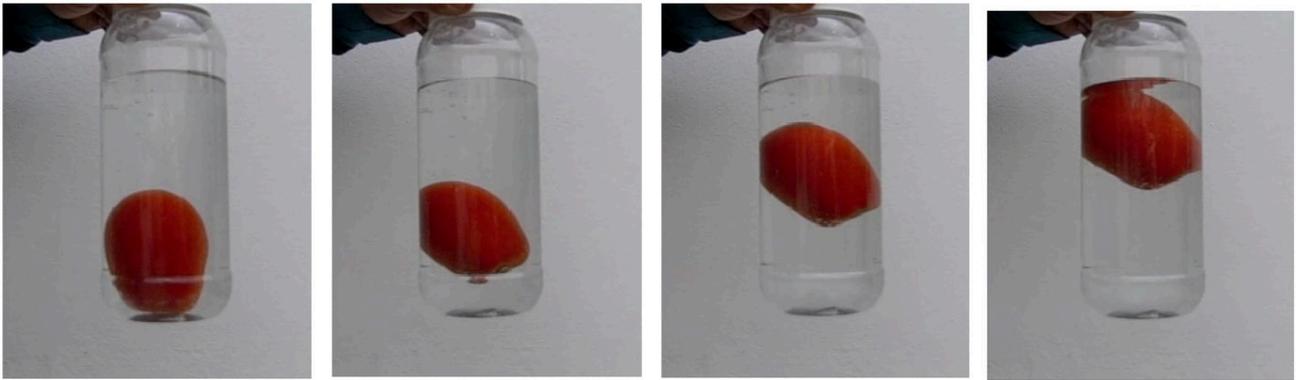


Figura 5. Después de alejar el imán, el tomate se mueve hacia arriba.

Fuente: autor.

La pregunta clave de esta secuencia de aprendizaje activo sería:

¿Qué hará el tomate, si el imán se aleja y simultáneamente se deja caer la botella?

Es recomendable ofrecer a los estudiantes las posibles respuestas:

- (a) El tomate se queda en el fondo de la botella.
- (b) Se moverá hasta la superficie de agua.
- (c) Se moverá hasta la mitad de la botella.

Solamente los estudiantes que tienen el conocimiento sobre la ausencia de la fuerza de empuje en la caída libre dirán que el tomate quedará en el fondo de la botella.

Los estudiantes que no saben que en la caída libre, desaparecen el campo gravitacional en el recipiente y la fuerza de empuje, seleccionarían la opción (b),

con el argumento de que eso hacía el tomate antes en la situación estacionaria. Se trata de una generalización apresurada basada en la experiencia previa. A otros les parecería la correcta la opción (c). Ellos basan esta predicción en el recuerdo de los dibujos en los libros de texto de física en que la persona y báscula se elevan y flotan cuando el elevador está en la caída libre (Balukovic & Slisko, 2017). Para los estudiantes que escogieron las respuestas (b) y (c) sería una gran sorpresa que la predicción correcta es la respuesta (a): El tomate se queda en el fondo de la botella (Figura 7).

Conclusión

En la discusión sobre la explicación del comportamiento sorprendente del tomate, hay que dirigir la atención de los estudiantes hacia la fuerza de empuje. Como antes tal fuerza causaba la flotación del tomate, una explicación del hecho de que el tomate se queda en el fondo es que en la caída libre deja de actuar la fuerza de empuje.

Conociendo la relación entre la fuerza de empuje y diferentes presiones hidrostáticas en diferentes profundidades de agua, los estudiantes podrían concluir que la ausencia de la fuerza de empuje implica la ausencia de la presión hidrostática. La conclusión final, asistida y guiada por el docente, debe ser que en la caída libre el agua no tiene peso y por eso no ejerce ni presión hidrostática ni fuerza de empuje.



Figura 6. El tomate y el imán antes de que se aleja el imán y el recipiente se deja caer. Fuente: autor.

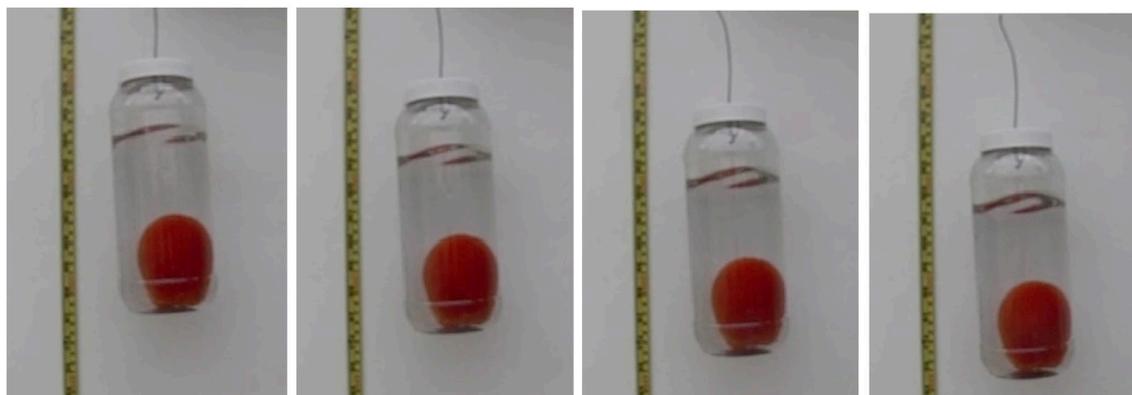


Figura 7. Cuando la botella está en caída libre, el tomate se queda en el fondo sin la presencia del imán de neodimio.

Fuente: autor.

La ausencia del peso del agua se debe a la ausencia del campo gravitacional interno en los sistemas que caen libremente en el campo gravitacional de la Tierra. De tal manera que, los estudiantes llegarían a un nuevo conocimiento sobre el estado de ingravidez a partir de la observación propia de un acontecimiento sorprendente en la caída libre y no a partir de un “experimento mental”.

La ausencia del campo gravitacional interno en los sistemas que caen libremente implica la ausencia del peso de los cuerpos y las fuerzas relacionadas con el peso (fuerza de fricción y fuerza de empuje). Otras fuerzas, que no se relacionan causalmente con el campo gravitacional, son fuerzas elásticas, electrostáticas y magnéticas. Tales fuerzas actúan de la misma manera en la caída libre.

La prueba de transferencia de tal conocimiento sobre la ausencia del campo gravitacional interno en los sistemas en caída libre puede ser la tarea de diseñar una demostración adicional de ingravidez basada en la relación entre las fuerzas que dejan de actuar y las que siguen actuando. Hay evidencias de que los estudiantes son capaces de proponer interesantes diseños, algunos completamente viables y otros que revelan la presencia de algunas concepciones alternativas (Slisko, 2017). Ambos tipos de productos del pensamiento creativo de los estudiantes son muy útiles porque demuestran el valor didáctico del aprendizaje activo, sobre el tema de ingravidez.

Agradecimiento

Agradezco a mi amigo y colaborador Adrián Corona Cruz (Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla) por haber hecho las fotos usados en este artículo.

Referencias bibliográficas

- BALUKOVIC, J. & SLIŠKO, J. (2016). Ucenicka objašnjenja demonstracije bestežinskog stanja sa bocom i mlazom vode. *Nastava fizike*, 3, 21-24.
- BALUKOVIC, J. & SLIŠKO, J. (2017). Misaoni eksperiment o mjeranju težine u liftu koji slobodno pada: Negativne posljedice u uceničkom znanju. *Nastava fizike*, 4, 9-12.
- BALUKOVIC, J., & SLIŠKO, J. (2018). Teaching and Learning the Concept of Weightlessness: An Additional Look at Physics Textbooks. *European Journal of Physics Education*, 9(1), 1-14.
- BALUKOVIC, J., & SLIŠKO, J. (2019). Active learning of weightlessness with the bottle-and-water-jet demonstration: Which new experiments do students propose to test an alternative explanation? *Journal of Physics: Conference Series*, 1286(1), 012002.
- BALUKOVIC, J., SLIŠKO, J., & CRUZ, A. C. (2017). Thought Experiments in Teaching Free-Fall Weightlessness: A Critical Review and an Exploration of Mercury's Behavior in “Falling Elevator”. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(5), 1283-1311.

- BENEGAS, J., PÉREZ DE LANDAZÁBAL, M., & OTERO, J. (2010). Estudio de casos: conocimientos físicos de los estudiantes cuando terminan la escuela secundaria: una advertencia y algunas alternativas. **Revista mexicana de física E**, 56(1), 12-21.
- BRESLOW, R. (1974). Apparatus for teaching physics: Apparent Weightlessness in Free Fall. **The Physics Teacher**, 12(6), 366
- ETKINA, E. (2019). Editorial. Can we teach students to think like scientists while learning science?. **Góndola. Revista de Enseñanza de las Ciencias**, 14(2), 220-223
- GONZÁLEZ - ESPADA, W. J., BIRRIEL, J., & BIRRIEL, I. (2010). Discrepant events: A challenge to students' intuition. **The Physics Teacher**, 48(8), 508-511.
- JIMÉNEZ-TENORIO, N., & OLIVA, J. M. (2016). Aproximación al estudio de las estrategias didácticas en ciencias experimentales en formación inicial del profesorado de Educación Secundaria: descripción de una experiencia. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, 13(1), 121-136.
- KRUGLAK, H. (1963). Apparatus for teaching physics: Physical Effects of Apparent "Weightlessness". **The Physics Teacher**, 1(1), 34-35.
- MOLINA, R. G. (2011). Ciencia recreativa: un recurso didáctico para enseñar deleitando. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, 8 (Número extraordinario), 370-392.
- SLIŠKO, J. (2017). Active Physics Learning: Making Possible Students' Cognitive Growth, Positive Emotions and Amazing Creativity. **Scientia in education**, 8 (Special issue), 79-100.
- SLIŠKO, J. & PLANINŠIČ, G. (2010). Hands-on experiences with buoyant-less water. **Physics Education**, 45(3), 292-296.
- YIN, Y., TOMITA, M. K., & SHAVELSON, R. J. (2008). Diagnosing and dealing with student misconceptions: Floating and sinking. **Science scope**, 31(8), 34-39.

