

Mejorando la efectividad de los experimentos en la enseñanza temprana de la física: Un enfoque innovador para demostrar que el aire ocupe espacio

EDVCAATIO PHYSICORVM



ISSN 1870-9095

David Israel Pacheco Romero, Josip Slisko Ignjatov, Adrián Corona Cruz
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
Avenida San Claudio y 18 Sur, Colonia San Manuel, Ciudad Universitaria, C.P. 72570,
Puebla, México.

E-mail: disrael.pr@gmail.com

(Recibido el 17 de marzo de 2024, aceptado el 30 de mayo de 2024)

Resumen

Uno de los experimentos más comunes en la enseñanza temprana de física se enfoca en demostrar que el aire ocupa espacio y que tiene capacidad para excluir o mantener el agua alejada de ciertos objetos sumergidos. Tal experimento consiste en la colocación de papel o algodón dentro de un vaso, seguido de la inmersión del vaso invertido en un recipiente más grande lleno de agua. Después de retirar el vaso del agua, se sugiere que el papel o algodón no esté mojado, lo que debería demostrar que el aire ocupa espacio en que el agua no puede entrar. Sin embargo, este procedimiento a menudo conduce a debates entre los estudiantes sobre si el papel o algodón se ha mojado o no. Esta desventaja sugiere la necesidad de una variante más efectiva del experimento. Se propone una variante innovadora que utiliza una vela encendida y un recipiente transparente con tapa (sin y con orificios) para ilustrar la influencia del aire en la exclusión del agua. El experimento se divide en dos partes. En la primera parte, se coloca una vela en la tapa (sin orificios) de un recipiente transparente y se cierra el recipiente herméticamente antes de sumergirlo en un recipiente lleno de agua. Como el agua no puede entrar en el recipiente, los estudiantes predicen correctamente que la vela no se apagará. En la segunda parte, la vela se coloca en la tapa que tiene orificios y se cierra el recipiente. La tarea de para los estudiantes es predecir qué pasará con la vela al sumergir el recipiente en el agua. Los estudiantes comúnmente predicen que la vela se apagará porque ahora el agua entra el recipiente sumergido. Sin embargo, pueden observar que la vela permanece encendida dentro del recipiente cerrado. Los resultados de esta nueva variante del experimento muestran una mejora significativa en la comprensión de los estudiantes. A diferencia del experimento tradicional con papel o algodón, los estudiantes no tienen dudas sobre si la vela se ha apagado o no, lo que les permite comprender plenamente los conceptos enseñados. Además, esta variante es más impactante ya que los estudiantes pueden observar con precisión cómo la vela continúa ardiendo dentro del recipiente, incluso con agujeros en la tapa, lo que refuerza la idea de la existencia de aire y su capacidad para influir en la exclusión del agua.

Palabras clave: Predecir, Observar, Explicar, Aprendizaje Activo de la Física, El aire ocupa espacio.

Abstract

One of the most common experiments in early physics teaching focuses on demonstrating that air occupies space and that it has the ability to exclude or keep water away from certain submerged objects. Such an experiment consists of placing paper or cotton inside a glass, followed by immersing the inverted glass in a larger container filled with water. After removing the glass from the water, it is suggested that the paper or cotton is not wet, which should demonstrate that air occupies space that water cannot enter. However, this procedure often leads to debates among students about whether the paper or cotton has become wet or not. This disadvantage suggests the need for a more effective variant of the experiment. An innovative variant is proposed that uses a lit candle and a transparent container with a lid (with and without holes) to illustrate the influence of air on excluding water. The experiment is divided into two parts. In the first part, a candle is placed on the lid (without holes) of a transparent container and the container is sealed tightly before being immersed in a container filled with water. Since water cannot enter the container, students correctly predict that the candle will not go out. In the second part, the candle is placed in the lid with holes in it and the container is closed. The task for students is to predict what will happen to the candle when the container is immersed in water. Students commonly predict that the candle will go out because water is now entering the submerged container. However, they can observe that the candle remains lit inside the closed container. The results of this new variant of the experiment show a significant improvement in students' understanding. In contrast to the traditional experiment with paper or cotton, students have no doubts about whether the candle has been extinguished or not, allowing them to comprehend the concepts taught fully. Additionally, this variant is more impactful as students can precisely observe how the candle continues to burn inside the container, even with holes in the lid, reinforcing the idea of the existence of air and its ability to influence water exclusion.

Keywords: Predict, Observe, Explain, Active Physics Learning, Air takes up space.

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la física en los primeros años educativos se fundamenta en diferentes maneras de aumentar la capacidad de los estudiantes para comprender conceptos abstractos a través de experiencias de los elementos de su vida cotidiana [1]. Los experimentos juegan un papel importante, brindando a los estudiantes jóvenes la oportunidad de conceptualizar las teorías científicas y aplicarlas en un entorno de la vida real.

La enseñanza de la física en la educación básica se apoya en bases pedagógicas específicas que consideran las características del desarrollo cognitivo de los niños y su influencia en el proceso de aprendizaje. En la enseñanza de la física a niños, es fundamental vincular los conceptos abstractos con experiencias tangibles y que se puedan adaptar a las experiencias de su vida diaria. Además, se requiere una presentación clara y concisa de los fenómenos físicos para evitar la confusión y favorecer la comprensión. La adaptación de conceptos complejos en un formato práctico y accesible es crucial para estimular la curiosidad natural de los niños.

En este sentido, es de suma importancia incorporar experiencias prácticas y actividades lúdicas que permitan a los niños explorar y comprender los conceptos físicos de manera tangible y divertida. Los juegos, las narrativas y la manipulación de objetos son herramientas efectivas para mantener su interés y motivación en el aprendizaje de la física.

Es fundamental incorporar actividades que promuevan la colaboración y el trabajo en equipo entre los estudiantes. La física, al igual que muchas otras disciplinas científicas, se beneficia enormemente del intercambio de ideas y la resolución colaborativa de problemas [2]. Al trabajar juntos en experimentos y proyectos, los estudiantes no solo fortalecen sus habilidades sociales y de comunicación, sino que también aprenden a apreciar la diversidad de perspectivas y enfoques en el proceso de descubrimiento científico.

La teoría constructivista, desarrollada por Piaget y Vygotsky, sostiene que los niños construyen activamente su propio conocimiento a través de la interacción con su entorno y la acomodación de los nuevos conocimientos con sus conocimientos previos. En el contexto de la enseñanza de la física para niños de entre 9 y 12 años, esta teoría destaca la importancia de proporcionar oportunidades para que los estudiantes exploren, experimenten y descubran conceptos físicos por sí mismos. Al participar en actividades prácticas y experimentación guiada, los niños adquieren conocimientos y al mismo tiempo construyen una comprensión más significativa, relacionándola con sus experiencias previas y sus propios marcos de referencias conceptuales [3].

El aprendizaje activo, en consonancia con la teoría constructivista, se centra en el papel activo del estudiante en la construcción de su propio conocimiento. En lugar de ser receptores pasivos de información, los niños son vistos como agentes activos en su proceso de aprendizaje, que participan en actividades significativas y colaborativas que

desafían sus preconcepciones y a resolver problemas. Al involucrar activamente a los niños en su aprendizaje, se promueve un sentido de agencia y autonomía que fortalece su motivación.

II. LAS DEFICIENTES DEMOSTRACIONES EXPERIMENTALES DE QUE EL AIRE OCUPA ESPACIO

Muchas demostraciones experimentales tradicionales enfrentan desafíos en cuanto a su poca eficacia pedagógica, lo que genera confusión e impide una comprensión de los principios físicos involucrados.

Este importante problema surge, de manera muy clara, en el experimento clásico cuyo objetivo es probar la proposición de que el aire ocupa el espacio.

Un ejemplo paradigmático es el siguiente [4]:
“John hizo algunos experimentos con el AIRE. Puso un paño pequeño en el fondo de un vaso grande. Puso el vaso boca abajo. Luego lo empujó hacia abajo dentro del agua. Sacó el vaso del agua. Sacó el paño. El paño estaba seco.”

Había aire en el vaso. El aire ocupa espacio. El aire no dejó que el agua entrara en el vaso.”

La falta total de pedagogía es obvia. (1) El experimento no hizo ni el maestro ni lo hicieron los niños sino una persona inventada. (2) Se ha dado, da manera narrativa, tanto el experimento como el supuesto resultado del experimento (“el paño estaba seco”). (3) Se han presentado narrativamente la explicación y la implicación del experimento.

Aunque existen ciertas mejoras (el experimento realiza el maestro o los niños), las deficiencias pedagógicas siguen iguales: se afirma que el papel, algodón o pañuelo en el fondo de vaso quedará seco y se presentan la explicación y la implicación del experimento [5, 6, 7, 8, 9].

Las mismas faltas pedagógicas se notan y en la presentación del experimento en las páginas estáticas de internet. Viene un ejemplo del experimento cuyos pasos “demuestran” que “El aire ocupa espacio” [10]:

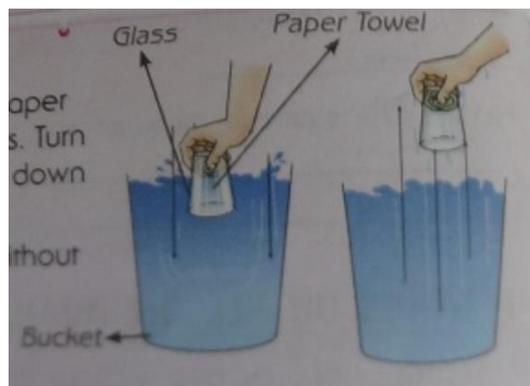


FIGURA 1. Experimento para demostrar que el aire ocupa espacio.

“Paso 1: Llena un balde con agua. Toma una toalla de papel y colócala en el fondo de un vaso. Gira el vaso boca abajo y empújalo hacia abajo en el balde con agua.

Paso 2: Saca el vaso del balde sin inclinarlo. La toalla de papel se mantiene seca.

¿Por qué sucedió esto?

El agua no puede entrar en el vaso porque ya está lleno de aire. Incluso cuando el vaso estaba dentro del agua, el papel ya estaba rodeado de aire. Por eso se mantuvo seco.”

Tal enfoque pedagógico deficiente se repite últimamente en los vídeos de YouTube [11]:



FIGURA 2.1. El papel plegado se mete en el vaso.



FIGURA 2.2. Poner al vaso en la jara.



FIGURA 2.3. El papel no se moja debido que el aire ocupa espacio.

III. DOS PROPUESTAS BASADAS EN EL APRENDIZAJE ACTIVO DE FÍSICA

Un diseño didáctico prometedor, que parte de un problema desafiante para niños de cuarto grado de primaria, diseñaron Campos y colaboradores [12]. Sobre el problema desafiante y los resultados, reportaron los siguientes:

“En cuanto al problema del vaso, los estudiantes parecieron estar más atentos y curiosos por resolverlo, porque mientras preparábamos los materiales, los estudiantes ya estaban hablando entre ellos sobre lo que iban a hacer primero. Los materiales utilizados fueron tres hojas de papel de oficina, un vaso transparente y un balde lleno de agua. Con los materiales entregados a los grupos, la docente presentó el problema: “¿Cómo metemos este papel dentro del vaso y hundimos el vaso en el balde con agua, sin mojar el papel?”

En esta actividad, los estudiantes demostraron que se sentían más cómodos, sin miedo a cometer errores y, por tanto, realizaron varios intentos para solucionar el problema. Algunos grupos colocaron el papel dentro del vaso de todos modos y se frustraron cuando levantaron el vaso y el papel estaba mojado. Sin embargo, pronto se dieron cuenta de que al colocar el vaso al revés (boca abajo), el papel no se mojaba. Cada vez que un grupo lograba hacer esto hacían un gran ruido, al darse cuenta de que habían logrado resolver el problema propuesto.

En la actividad del vaso preguntamos cómo conseguían que el papel no se mojara y nos sorprendió lo que dijo un alumno de uno de los grupos. Informó que había aire dentro del vaso que no permitía que el agua mojara el papel y si volteaba el vaso salían burbujas que mojaban el papel.

Un punto interesante fue la forma en que los estudiantes prestaron atención a todo lo que se exploraba, siempre

José Quintín Cuador Gil et al.

estableciendo relaciones con lo que sabían y haciendo preguntas sobre problemáticas que vivían en su vida diaria. Esto permite reflexionar respecto del papel que juega este tipo de actividades en la construcción del conocimiento científico por parte de los niños.”

Partiendo de la popular secuencia del aprendizaje activo de física “Predecir – Observar – Explicar” [13], Tytler ha diseñado e implementado otra actividad prometedora [14]:

“Sumergir un pañuelo

Materiales Un recipiente con agua de al menos 15 cm de profundidad. Un vaso y una caja de pañuelos.

Presiona un pañuelo seco en el fondo de un vaso, de modo que no se caiga cuando el vaso esté boca abajo. Predice qué le sucederá al pañuelo si empujas el vaso boca abajo debajo del agua en la bañera.

¿Crees que el papel se mojará mucho?

Saca el vaso y siente el papel (Observa).

¿Puedes explicar lo que encuentras? Revisa tus predicciones. ¿Tus suposiciones fueron erróneas?”

Son importantes las conclusiones de Tytler:

“Esta actividad de inmersión es contraintuitiva para los estudiantes y se basa en contradecir la expectativa visual de que las cosas bajo el agua se mojan. La actividad del pañuelo seco es desconcertante para los estudiantes más pequeños, quienes podrían decir:... Se mojará si lo dejas el tiempo suficiente.”

“Algunos estudiantes asocian esta actividad con las campanas de buceo. A la edad de 9 años aproximadamente, hemos comprobado que la mayoría de los estudiantes pueden responder a la explicación de esta actividad con bastante competencia.”

El ejemplo ilustrativo, proporcionado para tal competencia de los estudiantes, fue:

“Pensamos que (el papel) estaba mojado pero no lo estaba. Estaba seco porque el agua no entraba en el frasco. El agua estaba demasiado baja. El aire lo detuvo.”

IV. LOS ELEMENTOS PRINCIPALES DE NUESTRO ENFOQUE INNOVADOR

Aunque el nuestro enfoque usa, también, la secuencia “Predecir – Observar – Explicar” [13], tiene varios elementos nuevos. El primer elemento innovador fue decidir no usar en la actividad los materiales tradicionales (papel, pañuelo, algodón,...) sino ¡una vela encendida! Esa decisión es, de hecho, un regreso al pasado por más que dos siglos, cuando la vela encendida fue la primera y el pañuelo la segunda alternativa para realizar el “truco”. En el año 1810, Pybus [15] lo presentó así:

“Poner una vela encendida bajo el agua sin que se apague, o un pañuelo sin que se moje. Como se ha dicho mucho sobre la campana de buceo, este sencillo truco puede servir en cierta medida para esclarecer ese artilugio, ya que ciertamente se hace según el mismo principio. Tome un vaso, coloque un pequeño trozo de madera en la boca, pegue allí un trozo de vela encendida y con mano firme lleve el vaso a la superficie del agua, luego empujelo con cuidado hacia abajo, y podrá ver la vela arder bajo el agua y

volver a sacarla sin apagarse; y de la misma manera puede poner un pañuelo, bien enrollado, y no se mojará”.

El segundo elemento innovador fue usar un recipiente de plástico que se puede cerrar con una tapa sin y con orificios. Cuando el recipiente está boca abajo, las tapas sirven para sostener la vela encendida (Figura 3).



FIGURA 3. La tapa sin y con orificios que sostienen la vela encendida.

El tercer elemento innovador fue solicitar que los estudiantes dibujen sus predicciones sobre el comportamiento de la vela en los casos de la tapa sin y con orificios y que expliquen en que se basa su predicción (Figura 4).

<p>Vela en el agua parte 1</p> <p>1. La vela encendida está sobre la tapa sin agujeros. La tapa se cierra con el bote boca abajo. Cuando se metió el bote dentro del agua ¿la vela seguirá encendida o se apagó?</p> <p>Subraya tu respuesta.</p> <p>(a) Se apagó. (b) Seguirá encendida.</p> <p>Dibuja lo que piensas que va a pasar y explica porque piensas eso.</p> <table border="1"><tr><td>Dibujo</td><td>Mi explicación:</td></tr></table>	Dibujo	Mi explicación:	<p>Vela en el agua parte 2</p> <p>1. La vela encendida está sobre la tapa sin agujeros. La tapa se cierra con el bote boca abajo. Cuando se metió el bote dentro del agua ¿qué le pasó a la vela?</p> <p>Subraya tu respuesta.</p> <p>(a) Se apagó. (b) Siguió encendida.</p> <p>Dibuja lo que pasó y explica porque piensas que pasó.</p> <table border="1"><tr><td>Dibujo</td><td>Mi explicación:</td></tr></table>	Dibujo	Mi explicación:
Dibujo	Mi explicación:				
Dibujo	Mi explicación:				
<p>2 La vela encendida está sobre la tapa con agujeros. La tapa se cierra con el bote boca abajo. Cuando se metió el bote dentro del agua ¿la vela seguirá encendida o se apagó?</p> <p>Subraya tu respuesta.</p> <p>(a) Se apagó. (b) Seguirá encendida.</p> <p>Dibuja lo que piensas que va a pasar y explica porque piensas eso.</p> <table border="1"><tr><td>Dibujo</td><td>Mi explicación:</td></tr></table>	Dibujo	Mi explicación:	<p>2 La vela encendida está sobre la tapa con agujeros. La tapa se cierra con el bote boca abajo. Cuando se metió el bote dentro del agua ¿qué le pasó a la vela?</p> <p>Subraya tu respuesta.</p> <p>(a) Se apagó. (b) Siguió encendida.</p> <p>Dibuja lo que pasó y explica porque piensas que pasó.</p> <table border="1"><tr><td>Dibujo</td><td>Mi explicación:</td></tr></table>	Dibujo	Mi explicación:
Dibujo	Mi explicación:				
Dibujo	Mi explicación:				

FIGURA 4. Las hojas de colección de datos para las dos partes de las secuencia (predicción argumentada y observación explicada).

V. LA IMPLEMENTACIÓN DE LA SECUENCIA Y LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Para evaluar la eficacia de esta secuencia innovadora, se trabajó con un grupo de 29 alumnos de quinto año de primaria (edades de 10 a 11 años) que cursaban el ciclo escolar 2022-2023, pertenecientes a la escuela primaria ubicada en el municipio de San Nicolas de los Ranchos,

Puebla, donde se observó y registró la comprensión de los estudiantes antes y después del experimento (Figura 5).



FIGURA 5. La vela encendida sobre la tapa con orificios fuera y dentro de agua.

Como ya se ha dicho, esta secuencia contiene tres partes (predicción argumentada, observación y explicación), permitiendo a los estudiantes construir su comprensión a partir de sus propias experiencias.

Cuando la vela estaba sobre la tapa sin orificios, todos los estudiantes tenían predicciones y argumentaciones correctas: Al sumergir el recipiente en el agua, la vela no se apagará por qué el agua no puede entrar en el recipiente. Las predicciones se diversificaron bastante para el caso de la tapa con orificios.

16 alumnos (55 %) predecían que la vela se apagará. 14 alumnos (48 %) argumentaban su predicción: El agua va a entrar al bote por qué la tapa tiene orificios. Un ejemplo de la predicción argumentada está en la Figura 6.

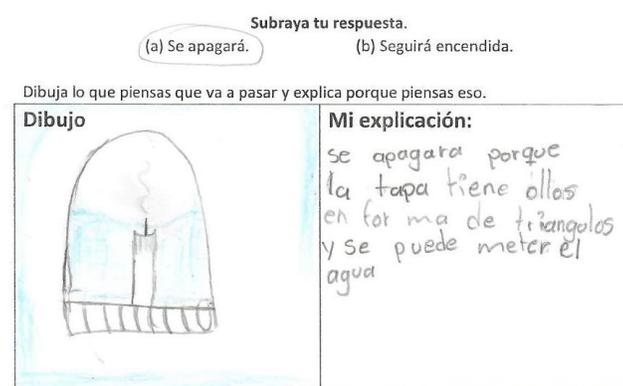


FIGURA 6. El argumento de un alumno para su predicción de que la vela se apagará.

2 alumnos (7 %) no han proporcionado el argumento solicitado.

13 alumnos (45 %) predecían que la vela se mantendrá encendida. Sin embargo, solamente 4 alumnos (14 %) proporcionaban la argumentación correcta: Hay aire adentro del bote lo que evita que el agua entre (Figura 7).

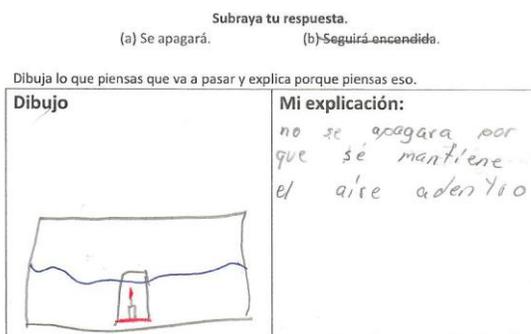


FIGURA 7. El argumento de un alumno para su predicción de que la vela no se apagará.

8 alumnos (28 %) no han proporcionado el argumento solicitado. Un alumno presentó un argumento “a modo”: Solo se filtrará poca agua.

En la parte grupal, no se observaron los cambios sustantivos, ni en las predicciones ni en las argumentaciones.

Después de observar que la vela sobre la tapa sigue encendida cuando el recipiente se sumerge en el agua (Figura 5), los estudiantes comparaban sus predicciones con lo observado y proporcionaban tanto viejas como nuevas explicaciones. Tales explicaciones eran:

“No se metió el agua ya que había aire dentro del bote.” Fue presentada por 8 alumnos (28 %).

“No se metió porque el oxígeno atrapado antes de entrar al agua se lo impide.” Esa explicación presentaron 6 alumnos (21 %)

Tomando en cuenta que para los alumnos “aire” y “oxígeno” son sinónimos, se obtuvo que 14 alumnos (49 %) lograron formular una explicación aceptable.

7 alumnos (24 %) no lograron formular una explicación para el fenómeno discrepante (la vela sigue encendida aunque la tapa tiene orificios).

El resto de los alumnos formularon explicaciones arbitrarias:

“No se apaga porque el bote estaba flotando.” Fue presentada por 3 alumnos (10 %).

“Los orificios causan burbujas y no se mete el agua.” 2 alumnos (7 %) ofrecieron tal explicación.

“No entra agua por una concentración de agua.” 3 alumnos (10 %)

Los alumnos que no aceptaban la verdad del fenómeno discrepante observado hicieron un comentario verbal: De hacerse más lento el proceso de meter el bote, el agua podría entrar y apagar la vela.

Es el mismo comentario que se presentó en la investigación de Tytler [14]. Eso comentario, registrado en Australia y México, es, de hecho, la predicción para el resultado de un nuevo experimento en que el recipiente se debe meter muy lentamente en el agua para que ella “tenga más tiempo” de entrar y mojar pañuelo o apagar la vela.

VI. CONCLUSIONES

A lo largo de esta investigación se ha analizado la efectividad de una secuencia innovadora para demostrar que el aire ocupa espacio, en comparación con las limitaciones pedagógicas que se pueden detectar en el experimento tradicional.

A través de un análisis observacional, se notó que la modificación con la vela encendida ofreció una demostración más clara y fácilmente interpretable para los estudiantes. Este enfoque permitió eliminar la ambigüedad que caracteriza al experimento tradicional, donde la interpretación de si el papel o algodón estaba seco o mojado generaba confusión. Los resultados obtenidos sugieren que los estudiantes comprendieron mejor el concepto de que el aire ocupa espacio gracias a la evidencia visual de la llama, que se mantuvo encendida debido que el aire impide la entrada de agua.

REFERENCIAS

- [1] Santos, R. C. M., & Mackedanz, L. F., *Physics teaching for children: A bibliographic review*, Acta Scientiae **21**, 213-230 (2019).
- [2] Carretero, M., *Constructivismo en la educación*, (Tilde editora, Buenos Aires, 2020).
- [3] Flores, F. & Gallegos, L., *Construcción de conceptos físicos en estudiantes. La influencia del contexto*, Perfiles Educativos **21**, 85–86, 90–103 (1999).

- [4] Friskey, M. (editor), *The true science library: world of physical wonders*, (Children's press. Chicago, 1963).
- [5] Flanagan, F. J., *Focus on science*, (D.C. Heath Canada, Toronto, 1983).
- [6] Ticotsky, A., *Who Says You Can't Teach Science?* (Scotts, Foresman and Company, New York, 1985).
- [7] Goldstein, N., *The first-timer's guide to science experiments*, (Contemporary Books, Chicago, 1999).
- [8] Buttitta, H., *It's Not Magic, It's Science! 50 Science Tricks That Mystify, Dazzle and Astound!* (Sterling Publishing company, New York, 2007).
- [9] Mandell, M., *Physics Experiments for Children*, (Dover Publications, New York, 2013).
- [10] <<https://kidsscience1.blogspot.com/2015/06/kids-experiments-air-takes-up-space.html>>, Consultado el 03 de marzo de 2024.
- [11] <https://www.youtube.com/shorts/INB3gV_6J8k>, Consultado el 03 de marzo de 2024.
- [12] Campos, B. S., Fernandes, S. A., Ragni, A.C.P.B. & Souza, N. F., *Physics for children: approach physics concepts from problem situations*, Revista Brasileira de Ensino de Física **34**,1402 (2012).
- [13] Gunstone, R. F. & White, R. T., *Understanding of gravity*, Science Education **65**, 291- 299 (1981).
- [14] Tytler, R., *Using toys and surprise events to teach about air and flight in the primary school*, Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching **3**, 1-14 (2002).
- [15] Pybus, W., *A manual of useful knowledge, being a collection of valuable miscellaneous receipts and philosophical experiments*, (William Rawson, London, 1810).