



Facultad de Educación

MÁSTER EN FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE  
EDUCACIÓN SECUNDARIA

Uso pedagógico de juguetes y objetos cotidianos en la enseñanza  
de la Física

**Pedagogical use of toys and everyday objects in the teaching of Physics**

Alumno: Miguel Ateca Zamacona

Especialidad: Física, Química y Tecnología

Director: Julio Güémez Ledesma

Curso académico: 2019-2020

Fecha: Julio 2020

**Resumen:**

A pesar de los múltiples beneficios de la utilización de los experimentos en el estudio y asimilación de los principios físicos, los docentes son reacios a utilizarlos debido a la complejidad del funcionamiento de los dispositivos, a que el experimento sea un fracaso o a no ser capaz de responder a las preguntas formuladas por los alumnos. Para orientarles durante todas las fases del desarrollo de un experimento, desde los materiales necesarios hasta el desarrollo del mismo, este trabajo propone varios guiones de prácticas de principios físicos incluidos en el currículo de Educación Secundaria Obligatoria de la Comunidad Autónoma de Cantabria (Decreto 38/2015). Estos guiones tendrán en cuenta múltiples variables como el contexto histórico, los preconceptos y el funcionamiento de los dispositivos, aplicando la metodología POE (Predicción-Orientación-Explicación), utilizando juguetes y objetos cotidianos. Los guiones de prácticas fueron puestos en práctica para detectar posibles debilidades y oportunidades de mejora en los mismos, alternando los roles de alumnos y profesor, para confirmar finalmente que era posible desarrollarlos en casa utilizando juguetes y objetos cotidianos. Como conclusiones, los guiones y experimentos se desarrollaron de forma exitosa, lográndose una buena integración entre la metodología POE y el resto de las variables citadas anteriormente.

**Palabras clave:** Juguetes, Objetos cotidianos, Experimentos, Física.

**Abstract:**

Despite the multiple benefits of using experiments in the study and assimilation of physical principles, teachers are reluctant to use them due to the complexity of the operation of the devices, the fact that the experiment is a failure or not being able to answer the questions asked by the students. To guide them during all the phases of the development of an experiment, from the necessary materials to the development of the same, this work proposes several scripts of practices of physical principles included in the curriculum of Compulsory Secondary Education of the Autonomous Community of Cantabria (Decree 38 / 2015). These scripts will take into account multiple variables such as the historical context, the misconceptions and the operation of the devices, applying the POE (Prediction-Orientation-Explanation) methodology, using toys and everyday objects. The practice scripts were put into practice to detect possible weaknesses and improvement opportunities in them, alternating the roles of students and teacher, to finally confirm that it was possible to develop them at home using toys and everyday objects. As conclusions, the scripts and experiments were developed successfully, achieving a good integration between the POE methodology and the rest of the variables mentioned above.

**Key words:** Everyday objects, Toys, Experiments, Physics.

## **1 Índice**

1	Índice.....	3
2	Introducción y Justificación .....	6
3	Marco teórico .....	7
3.1	Dificultades en la enseñanza y el aprendizaje de la física .....	7
3.2	Importancia de los experimentos .....	9
3.3	Uso de juguetes y objetos cotidianos.....	9
4	Objetivos .....	11
5	Procedimiento de trabajo .....	12
5.1	Metodología propuesta.....	13

6	Estructura del guión .....	14
7	Primera Ley de Newton – Principio de Inercia .....	15
7.1	Desarrollo teórico .....	15
7.2	Guión.....	20
8	Segunda Ley de Newton.....	22
8.1	Desarrollo teórico .....	22
8.2	Guión.....	24
9	Tercera Ley de Newton .....	27
9.1	Desarrollo teórico .....	27
9.2	Guión.....	30
10	Ley de Gravitación universal – Caída de graves .....	32
10.1	Desarrollo teórico.....	32
10.2	Guión .....	35
11	Ley de Hooke .....	38
11.1	Desarrollo teórico.....	38
11.2	Guión .....	40
12	Presión atmosférica – Hemisferios de Magdeburgo .....	42
12.1	Desarrollo teórico.....	42
12.2	Guión .....	45
13	Flotabilidad – Buzo de Descartes .....	47
13.1	Desarrollo teórico.....	47
13.2	Guión .....	50
14	Conclusiones.....	53
15	Agradecimientos.....	54
16	Referencias .....	55
16.1	Vídeos y simulaciones .....	60

Anexo A: Relación de cursos, bloques y contenidos relacionados con la Física en la ESO.....	62
Anexo B: Relación de cursos, bloques, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables de los principios físicos evaluados en la ESO .....	64
B1    Leyes de Newton .....	64
B2    Ley de Gravitación Universal - Gravedad.....	65
B3    Ley de Hooke .....	66
B4    Presión atmosférica.....	67
B5    Flotabilidad.....	68
Anexo C: Validación y desarrollo de las prácticas.....	69
C1    Primera Ley de Newton.....	69
C2    Segunda Ley de Newton.....	71
C3    Tercera Ley de Newton.....	73
C4    Ley de Gravitación universal – Caída de graves.....	74
C5    Ley de Hooke .....	76
C6    Presión atmosférica – Hemisferios de Magdeburgo.....	78
C7    Flotabilidad – Buzo de Descartes.....	79

**Lista de acrónimos:**

ESO: Educación Secundaria Obligatoria.

MRU: Movimiento Rectilíneo Uniforme.

MRUA: Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado.

POE: Predicción, Observación y Explicación.

## **2 Introducción y Justificación**

La historia de la física ha demostrado que la obtención de hipótesis y conclusiones mediante la observación e interacción diaria con el entorno no es el camino correcto a tomar debido a que esta normalmente no es intuitiva y a que suelen manifestarse varios fenómenos físicos a la vez, necesitándose experimentos y aparatos complejos para estudiar y aislar cada principio físico. Un claro ejemplo de estas circunstancias fue Aristóteles, cuyos planteamientos físicos se basaron en los supuestos anteriores. Para rebatir sus pensamientos y proponer nuevas teorías, se necesitaron varios siglos, ingeniosos experimentos y científicos excepcionales.

Los alumnos parten de una mente Aristotélica al observar cómo se comporta el entorno y su interacción diaria con este sin que previamente hayan sido enseñados a analizar ni comprender fenómenos físicos, generando ideas erróneas, los denominados preconceptos. Al no disponer de conocimientos físicos previos, tienden a seguir los mismos razonamientos que los obtenidos por diferentes científicos a lo largo de la historia. Por esta razón, es fundamental conocer cómo ha evolucionado el pensamiento sobre el principio físico, ayudando a los alumnos a razonar y comprender progresivamente, en vez de memorizarlo sin entender las razones.

Entre las múltiples metodologías y herramientas pedagógicas disponibles para ayudar a los alumnos a eliminar dichos preconceptos, los experimentos destacan como una herramienta pedagógica fundamental. Estos muestran en “vivo” el principio físico, permitiendo a los alumnos interaccionar directamente con la física, aumentando su interés y motivación que, junto con la teoría y el apoyo del docente, favorecen la asimilación del concepto físico, algo que de otra manera sería muy difícil.

A pesar de las bondades y ventajas del uso de los experimentos en la enseñanza de la física, los docentes no suelen utilizarlos, proponiendo como posibles razones el trabajo previo necesario, la dificultad de encontrar experimentos que demuestren únicamente el principio físico, la limitación de tiempo de docencia y

el miedo a que los mismos no se desarrollen de la forma esperada, generando inseguridades a la hora de explicar fenómenos no previstos.

Para que un experimento resulte útil desde el punto de vista pedagógico, ha de estar muy bien preparado, de tal manera que sólo muestre de forma clara el principio físico que se quiere discutir y esto suele ser muy complejo al manifestarse en un mismo experimento múltiples fenómenos físicos que pueden interferir. Ejemplos claros de que los fenómenos físicos no son obvios son la mecánica y la termodinámica.

El presente trabajo intenta facilitar y animar a los docentes de física a utilizar los experimentos como parte fundamental de su docencia. Para ello, propondremos una serie de guiones que faciliten el desarrollo de los experimentos basándonos en la metodología POE, analizando las posibles variables que se deben de tener en cuenta en el desarrollo de estos, tales como como la selección de dispositivos y experimentos adecuados, factores que mejoren la comprensión por parte los alumnos, como la contextualización histórica, los preconceptos y el uso de dispositivos familiares y cercanos, como los juguetes y objetos cotidianos.

Proponemos utilizar juguetes u objetos cotidianos frente a material de laboratorio estándar debido a que son accesibles para la mayoría de los alumnos y forman parte de su mundo, fomentando el aprendizaje e incrementando la motivación. Cuando hablamos de juguetes, no sólo nos referimos a pelotas o coches de juguete, si no a dispositivos que se utilizan en física para explicar fenómenos físicos, tales como el Buzo de Descartes o la Cuna de Newton.

Para comprobar la validez y realizar mejoras en el guión original, se desarrollaron estos utilizando objetos cotidianos y juguetes, alternando los roles de docente y de alumno.

### **3 Marco teórico**

#### **3.1 Dificultades en la enseñanza y el aprendizaje de la física**

No es fácil encontrar una respuesta única a las dificultades existentes en la enseñanza y aprendizaje de la física. Diversos autores han realizado estudios para intentar descubrir las diferentes variables y actores implicados.

Los docentes muestran dificultades en el entendimiento del método científico y su aplicación al mundo real, y para suplir estas carencias habitualmente reproducen las explicaciones proporcionadas por los libros de texto, a veces innecesariamente complicadas en contenido, desarrollo matemático y lenguaje, relegando su papel a mero traductor de palabras complicadas (Islas y Pesa, 2003, p. 63). Esta situación fuerza al alumno a memorizar sin ningún tipo de apoyo o razonamiento los contenidos y problemas-tipo sin realizar un aprendizaje ni significativo ni duradero (Aguirre de Carcer, 1983, pp. 96-97). Cuando se pregunta a los docentes sobre las razones de esta situación, la justifican alegando falta de tiempo o que únicamente deben ceñirse al currículo (Solbes, Montserrat y Más, 2007, p. 113).

En la enseñanza inicial de la ciencia, el docente suponía que la mente de los alumnos estaba vacía cuando en realidad se encuentra llena de ideas y de razonamientos, los denominados preconceptos (Campanario y Otero, 2000, p. 156). Los preconceptos nacen de la necesidad de los alumnos de dar explicación a los fenómenos e interacciones diarias con el mundo que les rodea (Precece 1984, citado en Campanario y Otero, 2000, p. 157). Normalmente estos preconceptos son erróneos y difíciles de eliminar, debido a que los alumnos no se dan cuenta de que estos no reflejan la realidad y a que han realizado un aprendizaje razonado pero inadecuado (Campanario y Otero, 2000, p. 165). Algunas estrategias válidas para corregir los preconceptos son animar a los alumnos a realizar experimentos y que utilicen y hagan suyo el lenguaje científico (Alwan, 2011, p. 606).

Aparte de tener en cuenta los puntos de vista mostrados anteriormente, consideramos que los alumnos son parte activa de este problema, y su opinión, normalmente ignorada, es fundamental. Los alumnos tienen una visión negativa de la asignatura de Física y Química por su complejidad, falta de atractivo, falta de conexión con la realidad y falta de proyección profesional futura (Solbes et al., 2007, p. 113). Consideran la contextualización histórica (Solbes y Traver, 2001, p. 159) y el trabajo de laboratorio como claves para aumentar la aceptación y mejorar la visión de la asignatura (Solbes et al., 2007, p. 113).

### 3.2 Importancia de los experimentos

Como hemos indicado en el apartado anterior, una de las herramientas para mejorar la enseñanza de la ciencia o física son los experimentos. Los experimentos ayudan a los alumnos entender y profundizar en los conceptos teóricos al integrar la faceta teórica y práctica en un mismo espacio y tiempo (Gil Pérez, Navarro Faus y Pérez, 1994, p. 46). Esto se consigue revisando el concepto que cada alumno tiene con otros compañeros para identificar preconceptos, facilitando al mismo tiempo la motivación, la imaginación, la reflexión y las relaciones de todos los actores implicados (Gil Pérez et al, 1994, p. 46).

Sin embargo, debemos tener en cuenta las dificultades y problemas a resolver durante el desarrollo del experimento, tales como asegurar la coherencia entre la teoría y la práctica, no realizar experimentos demasiado abiertos que puedan producir ansiedad, asegurar la participación de todos los alumnos y, por último, organizar el experimento de forma clara y estructurada (De Jong, 1998, pp. 311-313).

Para la organización de los experimentos los docentes deben lograr un equilibrio entre múltiples variables; por un lado las variables institucionales (aula, horario, material, programa) sobre las que no tiene control y por otro lado, las variables sobre las que sí tiene control (enseñar a investigar, preconceptos, gestión,...) (Richoux y Beaufile, 2003, pp. 104-105).

### 3.3 Uso de juguetes y objetos cotidianos

En el siglo XIX se pusieron de moda las demostraciones científicas en las que se utilizaban diversos juguetes y objetos cotidianos para adaptarlas a todos los públicos y motivar a los niños a estudiar ciencia por su sencillez, cercanía y familiaridad; comenzaron utilizando bolas de billar, para posteriormente utilizar la Cuna de Newton y el Buzo de Descartes hasta la actualidad, en el que casi cualquier juguete u objeto cotidiano es susceptible de ser usado para explicar física (Aref, Hutzler y Weaire, 2007).

En las últimas décadas se han realizado numerosos estudios sobre el uso de juguetes en las aulas; como ejemplo de ello, McCulloch, J. y McCulloch, R.

(2000, p. 1.2) muestran que entre el año 1965 y 1999 se publicaron unos 250 artículos en la revista *The Physics Teacher*, produciendo un incremento a partir de 1985 mientras que en España a partir de año 2000 disponemos de varios estudios en este sentido, llegando a aparecer diversos artículos periodísticos (Lozano Lucia, 2012, pp. 36-37). Una aplicación real y que se desarrolla desde hace años en la Universidad de Cantabria es el programa “*Aula: Espacio Tocar La ciencia*”, en la que se muestran diferentes principios físicos de mecánica, electricidad y magnetismo utilizando juguetes y objetos cotidianos a alumnos de Secundaria.

Diversos autores han identificado múltiples ventajas en la utilización de juguetes en el aula para mejorar la adquisición y asimilación de conocimiento científico (Canedo, 2007, p. 167; McCulloch, J. y McCulloch, R., 2000, p. 1.1; Summers, 1994, p. xiii; Varela Nieto y Martínez Montalbán, 2005, p. 240):

1. Normalmente son más baratos y accesibles que el equipamiento de laboratorio.
2. Los alumnos se muestran más interesados y emocionados si reconocen el juguete con el que se va a realizar el experimento.
3. Los alumnos ajenos al mundo científico-tecnológico muestran mayor predisposición al uso de juguetes frente al miedo que sienten al utilizar complejos aparatos tecnológicos.
4. Utilizando elementos de su vida diaria, consiguen relacionar y contextualizar el aprendizaje de la física algo integrado en su día a día, y no como algo ajeno, extraño y complejo.
5. Incrementan el interés y la implicación de los alumnos en el aprendizaje de la física, al querer entender los procesos que están produciéndose en un objeto conocido.
6. Forman parte del mundo real de los alumnos, permiten aprender mientras juegan y siempre atrae la atención de estos.
7. Pueden ayudar a disminuir la brecha entre los conocimientos previos y los conocimientos a adquirir, logrando que los aprendizajes sean significativos al estar cercanos a la zona de desarrollo próximo, animando

a los alumnos a investigar el juguete (objeto natural y no invasivo) para posteriormente pasar a estudiar objetos más alejados de su normalidad. A pesar de todas las ventajas y bondades señaladas anteriormente, debemos considerar que los juguetes no son una herramienta infalible para ayudar a los alumnos a comprender la física, sino que su uso puede resultar contradictorio si el principio que se quiere mostrar es demasiado complicado; la descripción de un juguete simple puede involucrar a varias áreas complejas de la física y por ello, el docente deberá elegir cuidadosamente el juguete, analizándolo en profundidad su funcionamiento, teniendo claro lo que quiere mostrar y enseñar (Güémez, Fiolhais, C. y Fiolhais, M., 2010, p. 10).

## **4 Objetivos**

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- Preparar guiones para facilitar y animar a los docentes al desarrollo de experimentos de principios físicos incluidos en el currículo de la ESO de la asignatura de Física y Química de la Comunidad Autónoma de Cantabria incluidos en el apartado 11 del Decreto 38/2015, que faciliten a los alumnos la asimilación de conceptos físicos difíciles teniendo en cuenta múltiples variables como la selección de dispositivos y experimentos adecuados. Otros factores a tener en cuenta son aquellos que mejoren la comprensión por parte los alumnos, como la contextualización histórica, los preconceptos y el uso de dispositivos familiares y cercanos, como los juguetes y objetos cotidianos, aplicando la metodología POE (Predicción-Observación-Explicación).
- Desarrollar los experimentos utilizando los guiones de prácticas originalmente propuestos alternando el rol de docente y alumno para detectar posibles debilidades y oportunidades de mejora, mejorando estos, y comprobar si es posible reproducirlos en casa utilizando juguetes y/o objetos cotidianos.

## 5 Procedimiento de trabajo

Para el desarrollo del presente trabajo se ha seguido el siguiente procedimiento:

1. Análisis del currículo de Cantabria: El trabajo ha comenzado analizando el currículo de ESO de la asignatura de Física y Química de la Comunidad Autónoma de Cantabria incluido en el apartado 11 del Decreto 38/2015 para identificar los principios físicos que los alumnos deben asimilar en esta etapa. En el *Anexo A: Relación de cursos, bloques y contenidos relacionados con la Física en la ESO*, se muestran los cursos, bloques y contenidos relacionados con la física en la ESO.
2. Selección de los principios físicos: Se seleccionaron 7 principios físicos por su relevancia e importancia, tanto histórica como curricular.
3. Evaluación de los diferentes experimentos y dispositivos: Se analizaron diferentes experimentos para seleccionar aquellos que podían ser desarrollados utilizando objetos cotidianos o juguetes. Cuando fue posible, se seleccionaron experimentos históricos, como los Hemisferios de Magdeburgo y el Buzo de Descartes.
4. Selección de la metodología: Se adaptó la metodología POE a nuestro trabajo como se muestra en el apartado *5.1 Metodología propuesta*.
5. Desarrollo del guión: Una vez definidos los objetivos, experimentos, metodología y dispositivos, se realizó la primera versión del guión. Además de lo anteriormente descrito, se tuvo en cuenta el contexto histórico, los preconceptos y el funcionamiento de los dispositivos. En el apartado *6 Estructura del guión*, mostramos la información incluida en el mismo.
6. Realización del experimento: Para comprobar la validez y realizar mejoras en el guión original, se desarrollaron los experimentos propuestos utilizando objetos cotidianos y juguetes, alternando los roles de docente y de alumno. En el *Anexo C: Validación y desarrollo de las prácticas* se incluye el desarrollo y las conclusiones obtenidas.
7. Revisión del guión inicial: Tras el desarrollo del experimento utilizando el guión inicial, se realizaron modificaciones para obtener un guión mejorado.

## 5.1 Metodología propuesta

En la metodología POE (Predicción Observación Explicación), el alumno realiza una predicción justificada de lo que va a suceder, describiendo lo observado una vez desarrollado el evento para finalizar contrastando sus ideas previas con el desarrollo del evento (Chamizo, 1997, p. 141).

Esta metodología tiene la ventaja de que estimula el interés por la ciencia, permite detectar los conocimientos e ideas previas y aumenta la reflexión de los alumnos sobre temas físicos (Hernández Millán y López Villa, 2011, p. 12).

A pesar de las ventajas señaladas anteriormente, hemos de señalar que el éxito de esta metodología depende de la implementación por parte del docente, ya que el mismo ha de tener en cuenta los preconceptos en la elaboración de la sesión para poder ayudar a los alumnos a transitar de las ideas previas a la explicación real (Mthembu, 2011). La metodología POE junto al uso de juguetes ha sido aplicada por Ince, Acar, y Temur (2015, pp. 48-50), obteniendo resultados muy positivos.

### 5.1.1 Adaptación de la metodología POE

Una vez analizada la metodología POE, se procedió a realizar ciertos ajustes para adaptarla a los objetivos a conseguir en el presente trabajo, basándonos en las diferentes recomendaciones de Coromillas (2016) y Joyce (2006):

#### **Predicción:**

1. Mostramos el dispositivo a utilizar, explicando su funcionamiento, permitiendo a los alumnos que lo examinen y experimente con él, y explicamos el principio físico a estudiar.
2. Los alumnos realizan su predicción justificada de lo que va a suceder.
3. Los alumnos discuten en grupos sus predicciones anteriores, de forma que intenten encontrar una respuesta consensuada y razonada.

#### **Observación:**

4. Desarrollamos el experimento tantas veces como sea necesario, dando tiempo a los alumnos para que analicen el suceso de forma adecuada y permitiendo a los mismos realizar el experimento bajo supervisión.

### **Explicación:**

5. Los alumnos revisan sus predicciones iniciales con las observaciones que han realizado tras la realización del experimento.
6. Los alumnos discuten en grupos sus nuevas observaciones mientras que el docente hace de guía para orientar a los mismos hacia la respuesta correcta, realizando preguntas abiertas para motivar la reflexión.

## **6 Estructura del guión**

El guión se compone de los siguientes apartados:

- Curso y base curricular: Definición de cursos y bloques de contenido en los que se incluye el principio físico a desarrollar definidos en el apartado 11 del Decreto 38/2015 (incluidos en el *Anexo A: Relación de cursos, bloques y contenidos relacionados con la Física en la ESO*).
- Objetivos: Los objetivos se han obtenido teniendo en cuenta los contenidos, los criterios de evaluación y los estándares de aprendizaje evaluables de cada principio físico objeto de estudio (incluidos en el *Anexo B: Relación de cursos, bloques, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables de los principios físicos evaluados en la ESO*) definidos en el apartado 11 del Decreto 38/2015.
- Preconceptos: Listado de preconceptos detectados por diferentes estudios y tras la realización de los experimentos para mejorar los guiones originales, que el docente puede tomar como referencia para intentar adelantarse a las posibles ideas preconcebidas de los alumnos.
- Materiales necesarios: Listado de materiales necesarios.
- Desarrollo teórico: Se divide en cuatro apartados:
  - *Introducción:* Resumen para introducir el principio físico.
  - *Contexto histórico:* Análisis del desarrollo histórico del principio físico, identificando dificultades y contextualización.
  - *Principio físico a demostrar:* Explicación teórica del principio físico.
  - *Diseño del dispositivo:* Análisis del funcionamiento y de los principios físicos presentes en el dispositivo utilizado en el experimento.

- Consejos para el docente: Tras desarrollar el experimento para mejorar el guión original y en colaboración con el Tutor, se proponen consejos para facilitar la labor al docente.
- Desarrollo de la práctica: Guía paso a paso para realizar el experimento siguiendo la metodología POE, considerando el contexto histórico, preconceptos y el funcionamiento de los dispositivos, incluyendo el uso de vídeos y/o simulaciones para contrastar y reforzar los conceptos estudiados.

## **7 Primera Ley de Newton – Principio de Inercia**

### 7.1 Desarrollo teórico

#### 7.1.1 Introducción

La resistencia de los cuerpos a cambiar su estado, de reposo o de movimiento, es un concepto cotidiano que todos hemos vivido en nuestro día a día. Un ejemplo de la inercia del reposo o de la inercia del movimiento es la translación de un carrito de la compra lleno;

- Al partir de la inercia del reposo, es necesario aplicar una gran fuerza para iniciar el movimiento (para “*vencer*” la inercia del reposo), pero una vez que nos movemos a la velocidad deseada, la fuerza necesaria para mantener esa velocidad es prácticamente cero (inercia del movimiento).
- Al frenar o cambiar de dirección, tendremos que aplicar una gran fuerza para conseguir el efecto deseado (inercia del movimiento).

Es decir, que el objeto tiende a mantenerse en el estado de movimiento en que se encuentre, oponiéndose a las perturbaciones y fuerzas exteriores que tienden a modificar dicho estado.

#### 7.1.2 Contexto histórico

Según Álvarez (2002), el estudio de la inercia se encuentra enmarcado en el estudio del movimiento que se inició en la antigüedad. Álvarez indica que Aristóteles fue el primero en realizar un estudio sistemático del movimiento y su filosofía es compatible con la inercia del reposo, pero incompatible con la inercia del movimiento debido a que los objetos en movimiento tenderán a ir a su lugar

natural, parándose finalmente. Para explicar el movimiento de una flecha disparada desde un arco, este es debido a que el aire, abriéndose en la punta de la flecha y cerrándose al final de la misma, ejercía como su motor (Álvarez, 2002).

Jean Buridán definió en el siglo XIV el concepto de “*ímpetus*”; al poner un objeto en movimiento se le suministraba un “*ímpetus*” que hacía que continuase su movimiento sin la acción de fuerzas externas (Álvarez, 2002). Johannes Kepler, con sus estudios del movimiento de los planetas, acuñó el término de “*inercia*”, pero seguía estando alejado del Principio de Inercia, al referirse a la tendencia a frenarse de todos los objetos en movimiento (Álvarez, 2002).

Álvarez (2002) menciona que posteriormente Galileo Galilei realiza varios experimentos con bolas y carriles, que le llevan a concluir que un cuerpo en movimiento sin rozamiento se moverá indefinidamente (inercia del movimiento). Álvarez indica que Galileo también enunció que un cuerpo en reposo tendería a mantener ese estado (inercia del reposo). Sin embargo, nunca llegó a presentarlo como un principio físico (Álvarez, 2002).

René Descartes indica que el mundo debe obedecer las leyes de la naturaleza; sustituye el universo Euclidiano (Aristotélico) por el universo cartesiano, basado en el espacio y el movimiento, permaneciendo estos constantes (Álvarez, 2002).

Christiaan Huygens hizo de puente entre Galileo, Descartes y Newton, enunciando en 1700 el Principio de Inercia, pero sin concretar lo suficiente como para completarlo (Álvarez, 2002).

Finalmente, Newton recogió todo el conocimiento y teoría previas desarrolladas por sus antecesores, definiendo el concepto de espacio absoluto y usando sistemas de referencias inerciales para definir sus tres Leyes, entre ellas la Primera Ley de Newton o Principio de Inercia (Álvarez, 2002).

### 7.1.3 Principios físicos a demostrar

La Primera Ley de Newton, también denominado Principio de Inercia se enuncia: “*Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento rectilíneo y*

*uniforme a no ser que sea obligado por fuerzas aplicadas sobre él a cambiar su estado”.*

Para demostrar esta ley, partiremos de la Segunda Ley de Newton,  $\vec{F}_r = m\vec{a}$ . Si la resultante de las fuerzas aplicadas sobre el cuerpo  $F_r$  es nula, la aceleración  $a$  también será nula. Por lo tanto, el cuerpo mantendrá su estado inicial (velocidad). Podemos distinguir dos casos, en función del estado inicial:

- Inercia del reposo ( $v_0=0$ )
- Inercia del movimiento: ( $v_0\neq 0$ )

#### 7.1.4 Diseño del dispositivo

##### 7.1.4.1 Dispositivo de inercia del reposo

Para realizar el experimento, utilizaremos el dispositivo mostrado en la Figura 1 que consta de una base sobre la cual se sitúan un pedestal de plástico y una lámina flexible de metal. Sobre el pedestal se coloca una pieza de metacrilato que tiene muy poco rozamiento con la bola, y sobre esta, una bola de plástico de masa considerable. Para desarrollar el experimento, debemos



*Figura 1 – Dispositivo de inercia del reposo*

flexionar la lámina y posteriormente soltarla, golpeando la pieza de metacrilato. Si la energía transferida durante el choque es lo suficientemente grande, la pieza de metacrilato adquirirá una gran velocidad, tardará muy poco tiempo en desplazarse por debajo de la bola, ejercerá muy poca fuerza e impulso sobre la misma, debido al bajo rozamiento, y la bola no se moverá, cayendo en la cazoleta situada en el extremo superior del pedestal. Si la energía transferida durante el choque no es suficiente, la pieza de metacrilato ejercerá una fuerza y un impulso considerables sobre la bola y esta se desplazará, no cayendo ya en la cazoleta. A continuación, vamos a ir mostrando los fenómenos físicos que se manifiestan durante el desarrollo el experimento (L-Lámina, B-Base y BO-Bola):

1. Inicialmente la lámina de metal se dobla, acumulando Energía Potencial Elástica.

2. Al dejar libre la lámina, tiende a recuperar su forma original moviéndose a gran velocidad hacia la base de metacrilato. La Energía Potencial Elástica inicial se ha convertido en Energía Cinética.
3. En el momento del choque entre la lámina y la base, por la Tercera Ley de Newton se ejercen dos fuerzas iguales y de sentido opuesto, una en cada cuerpo  $\vec{F}_L = -\vec{F}_B$ . Si consideramos el sistema aislado, el momento lineal ha de mantenerse antes y después del choque, por lo que  $P_I = P_F \rightarrow P_L = P_B \rightarrow m_L v_L = m_B v_B \rightarrow v_B = \frac{m_L v_L}{m_B}$
4. Un instante después del choque, la base comienza a desplazarse a gran velocidad. Entre la bola y la base existe una pequeña superficie de contacto y un bajo coeficiente de rozamiento. Aplicando la Segunda Ley de Newton a la bola y en el eje horizontal (ya que la aceleración vertical es cero), sólo tenemos actuando la fuerza de rozamiento ( $F_r$ ), obteniendo  $F_r = m_{BO} a_{BO} \rightarrow a_{BO} = \frac{F_r}{m_{BO}} = \frac{\mu m_{BO} g}{m_{BO}} = \mu g$ . La aceleración de la bola es prácticamente cero y la velocidad de la base es elevada, cayendo la bola en la cazoleta del pedestal sin apenas variar su posición.

Por lo tanto, el funcionamiento del dispositivo depende de las siguientes variables:

- Energía inicial acumulada por la lámina de metal: La energía elástica inicial es función de la deformación de la lámina, que al liberar se transforma en Energía Cinética y determina la velocidad de la base.
- Coeficiente de rozamiento entre la bola, el metacrilato y el pedestal: Ha de ser pequeño para limitar la aceleración de la bola y facilitar el movimiento de la base sobre el pedestal.
- Masa de la bola: A mayor masa, menor aceleración de la bola tras el choque.

#### 7.1.4.2 Dispositivos de inercia del movimiento

Para realizar el experimento utilizaremos dos tipos de experimentos, uno minimizando la fuerza de rozamiento y otro en el que la fuerza de rozamiento se iguala a la fuerza aplicada.

#### 7.1.4.2.1 Minimizando el rozamiento

Para realizar este experimento, vamos a recrear el experimento que realizó Galileo Galilei utilizando carriles y bolas. Para ello, dispondremos de una rampa o carril de Galileo dividido en parte izquierda, fija, y parte derecha, abatible, tal y como se muestra en la Figura 2.

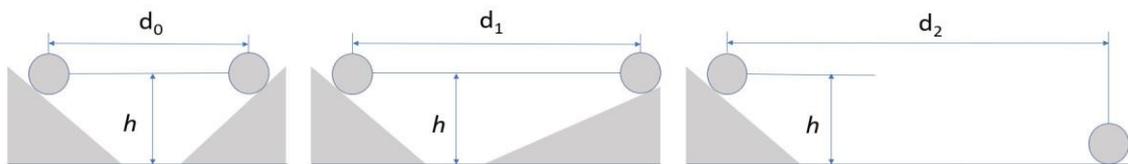


Figura 2 – Desarrollo del experimento del carril de Galileo

Al dejar libre la bola desde una altura  $h$ , esta se desplazará hasta alcanzar la misma altura  $h$ , admitiendo que no hay rozamiento tras recorrer una distancia  $d_0$ . Aplicando el Principio de Conservación de la Energía, la Energía Potencial Gravitatoria inicial se transforma en Energía Cinética hasta alcanzar la base de la rampa. En ese momento, la Energía Cinética se conserva al no estar sometida a ninguna fuerza horizontal y aplicando la Segunda Ley de Newton,  $\vec{F}_r = m\vec{a}$ , la aceleración es nula y la velocidad constante. Al iniciar el ascenso por la parte derecha de la rampa o carril, la Energía Cinética se transformará en Energía Potencial Gravitatoria hasta alcanzar de nuevo la altura  $h$  inicial, repitiéndose el proceso.

En el segundo caso, disminuimos la inclinación de la parte derecha de la rampa o carril. Al dejar libre la bola, esta alcanzará de nuevo la altura  $h$  inicial de la bola, pero recorriendo una distancia mayor  $d_1$ .

Finalmente, si quitamos la parte derecha de la rampa dejando el suelo en horizontal, la bola se desplazará indefinidamente una distancia  $d_2$  mayor que  $d_0$  y  $d_1$  a velocidad constante al no estar sometida a ninguna fuerza según la Segunda Ley de Newton. En la vida real, la bola se parará debido a la aceleración negativa que ejerce la fuerza de rozamiento debido a la Segunda Ley de Newton.

#### 7.1.4.2.2 Con rozamiento

Tal como se mostrará en el apartado 10.1.3.2 *Rozamiento con el aire*, cuando dejamos caer libremente un objeto en presencia de aire, el mismo comenzará un

Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA) hasta alcanzar una velocidad límite en la que la fuerza gravitatoria se iguala a la fuerza del rozamiento del aire. La fuerza resultante aplicada al cuerpo es nula, y aplicando la Segunda Ley de Newton su aceleración también será nula. Por lo tanto, una vez alcanzada la velocidad límite, el cuerpo mantendrá su velocidad describiendo un Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU). Si realizamos este experimento con una semilla de diente de león desde una altura significativa, observaremos que la misma describe un MRU hasta el mismo momento que alcance el suelo.

## 7.2 Guión

### **Primera Ley De Newton – Inercia del Reposo / Movimiento**

Cursos y base curricular: La Primera Ley de Newton está incluida en el bloque 4 “El movimiento y las fuerzas” de 4º de la ESO.

#### Objetivos:

- Mostrar al alumno que los cuerpos tienden a mantener su estado de movimiento inicial, resistiéndose a cualquier perturbación externa.
- Deducir la Primera Ley de Newton como consecuencia del enunciado de la Segunda Ley de Newton.

Preconceptos: Hestenes, Wells, y Swackhamer (1992, p. 3) identificaron varios preconceptos relacionados la Primera Ley de Newton:

- Si un objeto está en movimiento, es debido a que está sometido a alguna fuerza externa.
- Si sobre un cuerpo se aplica una fuerza externa, el mismo ha de moverse independientemente de su estado inicial.

#### Materiales necesarios:

- Inercia del reposo: Dispositivo mostrado en la Figura 1.
- Inercia del movimiento:
  - *Disminuyendo la fuerza de rozamiento:* Bola, rampa o carril de Galileo dividido en parte izquierda, fija, y parte derecha, abatible.
  - *Con rozamiento:* Semilla de diente de león.

Desarrollo teórico: Incluido en el apartado 7.1 *Desarrollo teórico*.

Consejos para el docente:

- En ambos experimentos, la bola ha de tener una masa apreciable para observar el principio de forma más clara.
- Los experimentos de inercia del reposo han de realizarse de forma rápida y vigorosa para que se obtengan los resultados deseados.
- En los experimentos de inercia del movimiento, se recomienda el uso de esferas de metal sobre madera, por su bajo coeficiente de rozamiento.

Desarrollo de la práctica:

### **Inercia del reposo:**

*Predicción:* Presentamos el dispositivo a los alumnos para que lo estudien con detenimiento y experimenten con él, explicando la inercia del reposo y permitiendo a los alumnos que realicen sus predicciones y las comparen con los compañeros.

*Observación:* Desarrollamos el experimento, variando la Energía Potencial Elástica Inicial acumulada por la lámina de metal, consiguiendo que la bola caiga en el pedestal y fuera de él.

*Explicación:* Tras comprobar que existe una energía mínima inicial que hace que la bola no caiga fuera, los alumnos revisan sus predicciones iniciales y las comparten con los compañeros. El docente guiará a los alumnos a la explicación correcta, describiendo el funcionamiento del dispositivo y llegando a la conclusión de que un cuerpo sometido a una fuerza resultante nula mantiene su estado inicial (reposo) de forma permanente, confirmando la Segunda Ley de Newton y deduciendo a la vez la Primera Ley de Newton.

### **Inercia del movimiento:**

*Predicción:* Presentamos la rampa con bola y el diente de león a los alumnos para que interactúen con ellos, explicando los principios físicos y el desarrollo de los experimentos de forma teórica, para que realicen sus predicciones y la comparen con las obtenidas por los compañeros.

*Observación:* Realizamos los dos experimentos de forma independiente.

*Explicación:* Los alumnos revisan sus predicciones iniciales y las comparten con los compañeros. El docente guiará a estos a la explicación correcta, para llegar a la conclusión de que un cuerpo sometido a una fuerza resultante nula mantiene su movimiento de forma permanente, confirmando la Segunda Ley de Newton y deduciendo a la vez la Primera Ley de Newton.

## **8 Segunda Ley de Newton.**

### 8.1 Desarrollo teórico

#### 8.1.1 Introducción

Desde pequeños, conocemos intuitivamente que la distancia, la velocidad y la aceleración a la que está sometido un cuerpo es función de la fuerza con la que se inicie el movimiento y al tiempo que la misma es aplicada. Patear un balón con una fuerza y tiempo superiores hace que el mismo alcance una distancia mayor, se mueva más rápido y con mayor aceleración que si le patea con una fuerza menor o la misma fuerza inicial aplicada durante un tiempo menor.

#### 8.1.2 Contexto histórico

Partimos del contexto histórico desarrollado en el apartado 7.1.2 *Contexto histórico* de la Primera Ley de Newton (Álvarez, 2002). En este apartado, Álvarez indica que Galileo enunció que no es necesario aplicar una fuerza a un cuerpo que está en movimiento para mantener dicho movimiento. Álvarez menciona que posteriormente Newton reconoce que cuando se aplica una fuerza sobre el cuerpo, la magnitud que varía es su velocidad. Esto se traduce en un cambio en su velocidad, en una aceleración al ser sometido a una fuerza (Álvarez, 2002).

#### 8.1.3 Principio físico a demostrar

La Segunda Ley de Newton se enuncia: *“El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime”* que, expresada matemáticamente tras los ajustes y principios básicos añadidos por Euler, es  $\vec{F}_r = m\vec{a}$ , donde:

- $F_r$ : fuerza resultante aplicada al cuerpo en N.
- $m$ : masa en kg.
- $a$ : aceleración en  $m/s^2$

De la ecuación anterior obtenemos que la variación de la aceleración de una partícula de masa  $m$  constante es directamente proporcional a la resultante de las fuerzas que se ejercen sobre esta. Por lo tanto, si la fuerza resultante es nula, el cuerpo mantendrá su estado de movimiento inicial ( $a=0$ ) mientras que, si la fuerza resultante es diferente de cero, describirá un MRUA ( $a\neq 0$ )

#### 8.1.4 Diseño del dispositivo

Para realizar un experimento que demuestre la relación entre la fuerza resultante y la aceleración es necesario disponer de artefactos caros y difíciles de manejar. Por ello, proponemos realizar dos experimentos para validar:

- Valor aproximado de la aceleración en función de la fuerza aplicada y la masa del objeto (objeto móvil y contrapeso).
- Un cuerpo sometido a una fuerza constante experimenta una aceleración constante (caída libre).

##### 8.1.4.1 Objeto móvil y contrapeso

Situamos el objeto móvil con bajo coeficiente de fricción sobre una mesa, y unimos un contrapeso al mismo mediante una cuerda que se desliza por el borde de la mesa, tal y como se muestra en la Figura 3.



Figura 3 – Situación estática del sistema contrapeso-objeto móvil

El campo gravitatorio de la Tierra genera el peso del contrapeso cuya ecuación tomando un punto en la superficie de la tierra es  $P = m_c g$ . Por lo tanto, la fuerza ejercida por el contrapeso ( $F_c$ ) será el peso del mismo, directamente proporcional al valor de la masa de este ( $m_c$ ) si consideramos despreciable el rozamiento. Al estar el contrapeso unido al objeto móvil mediante una cuerda, la misma estará sometida a una tensión  $T$ , y si la cuerda es inextensible y de masa despreciable,

el conjunto objeto móvil contrapeso se moverán con la misma aceleración ( $a_c = a_o$ ).

Con estas consideraciones, aplicamos la segunda Ley de Newton al sistema contrapeso - cuerda, donde la tensión de la cuerda es  $T = m_o a_o$  y las aceleraciones del objeto móvil y el contrapeso son iguales  $a_c = a_o$ :

$$\vec{F}_r = m\vec{a} \rightarrow F_c - T = m_o a_o \rightarrow m_c g - m_o a_o = m_c a_c \rightarrow a = \frac{m_c g}{m_c + m_o}$$

De la anterior ecuación deducimos que la aceleración del objeto móvil, y por tanto del funcionamiento del dispositivo, es función de las dos masas ( $m_c$  y  $m_o$ ).

El objeto móvil se mueve en un MRUA, al estar el contrapeso sometido a una aceleración constante  $a$ . Aplicando la ecuación de la posición del MRUA y considerando que el objeto móvil parte del origen ( $x_0=0$ ) y del reposo ( $v_0=0$ ), obtenemos la ecuación que relaciona la distancia recorrida ( $x$  en m), el tiempo empleado en recorrer esa distancia ( $t$  en s) y la aceleración del movimiento ( $a$  en  $m/s^2$ ):

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow x = \frac{1}{2} a t^2$$

#### 8.1.4.2 Caída libre

Para realizar el experimento para comprobar que un cuerpo sometido a una fuerza constante experimenta una aceleración constante, proponemos utilizar un objeto en caída libre (ver apartado 10.1.3.1 Ley de Gravitación Universal (gravedad)). Al estar sometido al campo gravitatorio terrestre, el objeto acelerará constantemente hasta llegar al suelo.

## 8.2 Guión

### **Segunda Ley de Newton**

Curso y base curricular: La Segunda Ley de Newton está incluida en el bloque 4 "El movimiento y las fuerzas" de 4º de la ESO.

#### Objetivos:

- Mostrar al alumno que la aceleración de un cuerpo depende de la magnitud de la fuerza que se le aplica y de la masa del objeto.

- Verificar que un objeto sometido a una fuerza constante se mueve con una aceleración constante.

Preconceptos: Hestenes et al. (1992, p. 3) identificaron varios preconceptos relacionados la Segunda Ley de Newton:

- Una fuerza constante no implica aceleración constante. Para que exista una aceleración constante, la fuerza ha de aumentar constantemente.
- La aceleración provocada por una fuerza se mantiene hasta una velocidad máxima, para dejar de acelerar después.
- Ausencia de movimiento significa ausencia de fuerzas. Para que exista movimiento, tiene que haber fuerzas actuando.
- Una fuerza constante termina consumiéndose.
- La velocidad es proporcional a la fuerza aplicada.

Materiales necesarios:

- Objeto móvil.
- Contrapesos de masa conocida.
- Cuerda.
- Mesa o estantería.
- Metro.
- Cronómetro.
- Programa Tracker (Brown, 2020)
- Pelota de tenis o similar.
- Cámara.
- Proyector, ordenador y conexión a internet.

Desarrollo teórico: Incluido en el apartado 8.1 *Desarrollo teórico*.

Consejos para el docente:

- Es necesario repetir cada movimiento varias veces por los errores en la medición del tiempo.
- La longitud de la superficie horizontal por la que circula el objeto móvil deberá ser superior a 1 m. Con distancias menores es muy difícil medir el tiempo con precisión debido a la rapidez con la que tiene lugar el proceso.

- En el caso de las masas del objeto móvil y del contrapeso, recomendamos definir unos valores iniciales, para modificarlos posteriormente proporcionalmente.
- El valor de la aceleración real es inferior al valor de la aceleración teórica. Esto es debido a que el rozamiento que no se ha tenido en cuenta en los cálculos teóricos y a errores en la medición y ejecución del experimento. Sin embargo, la proporción entre las aceleraciones se mantiene.
- Para que el programa Tracker (Brown, 2020) identifique correctamente el objeto en caída libre, el mismo ha de ser de un color que destaque con el color de la pared del fondo. Recomendamos además centrar la cámara y soltar el objeto cerca de una pared para facilitar posteriormente el análisis de los datos.

Desarrollo de la práctica:

**Objeto móvil y contrapeso:**

*Predicción:* Mostramos el montaje del experimento a los alumnos para después realizar una explicación teórica, incluyendo la Segunda Ley de Newton y el MRUA a la que está sometido el objeto móvil para que los alumnos representen el sistema, hagan las predicciones y las discutan con sus compañeros sobre las variables y la relación entre estas que definen la aceleración del objeto móvil.

*Observación:* Realizamos el experimento varias veces variando las masas del objeto móvil y el contrapeso de forma proporcional, midiendo el tiempo que tarda en recorrer la superficie.

*Explicación:* Los alumnos analizan los resultados reales con los resultados teóricos obtenidos inicialmente y las comparan con las de sus compañeros. El docente, guiará a los alumnos paso a paso en el planteamiento teórico del problema y su correcta resolución, para obtener la conclusión de que la aceleración del camión depende la relación de las masas del objeto móvil y del contrapeso. Para comprobar los resultados, proponemos utilizar la siguiente simulación Vašćák (s.f. a).

### Caída libre:

*Predicción:* Explicamos teóricamente la Segunda Ley de Newton y la caída libre (ver apartado 10.1.3.1 *Ley de Gravitación Universal (gravedad)*), indicando a los alumnos que discutan el valor de la aceleración del objeto en caída libre y las comparen con los compañeros.

*Observación:* Dejamos caer libremente el objeto. Debido a la rapidez con la que sucede el proceso, grabaremos la caída libre con una cámara para después analizar los datos con el programa Tracker (Brown, 2020).

*Explicación:* Los alumnos revisan sus hipótesis y las comparten con los compañeros, guiando el docente a estos en la obtención de la conclusión de que el objeto en caída libre acelera constantemente al estar sometido a la fuerza constante del Campo Gravitatorio Terrestre, cumpliendo la Segunda Ley de Newton.

## 9 Tercera Ley de Newton

### 9.1 Desarrollo teórico

#### 9.1.1 Introducción

Si una persona (p) empuja con una fuerza  $F_{pm}$  una pared (m), y ninguno de los dos se mueve, significa que la aceleración de ambos cuerpos es nula, y aplicando la Segunda Ley de Newton, obtenemos que la fuerza resultante es nula. Esto significa que la pared ejerce una fuerza sobre la persona  $F_{mp}$ , igual y de sentido contrario a la fuerza anterior. Si además de la fuerza  $F_{mp}$  que ejerce la pared sobre la persona, el suelo (s) ejerce otra fuerza sobre la persona  $F_{sp}$ , lo suficientemente grande para equilibra la anterior,  $F_{mp}+F_{sp}=0$ , el centro de gravedad de la persona no se mueve al aplicar la Segunda Ley de Newton y ser la resultante nula.

Si la persona está sobre patines y no hay rozamiento con el suelo, al empujarse contra la pared, la pared ejercerá la fuerza sobre la persona, y al no existir la fuerza  $F_{sp}$ , la resultante no será nula como en el caso anterior, y aplicando la Segunda Ley de Newton, el centro de masas de la persona acelerará alejándose de la pared.

### 9.1.2 Contexto histórico

Partimos del contexto histórico desarrollado en el apartado 7.1.2 *Contexto histórico* de la Primera Ley de Newton (Álvarez, 2002). Al aplicar las Leyes de Newton a un sistema formado por muchas partículas se obtiene un conjunto de ecuaciones muy grande, que no puede resolverse y que no aporta mucha información.

Ante la imposibilidad de avanzar, Newton supuso que las fuerzas internas al sistema son pares de fuerzas de acción-reacción. Como las fuerzas son vectores, al sumar todas las fuerzas internas, el resultado es cero: la fuerza resultante de las fuerzas internas es cero. Esto permite sumar las ecuaciones de Newton sobre todas las partículas del sistema, obtener la fuerza resultante de todas las fuerzas externas, y relacionar esta fuerza resultante  $F_r$  con la aceleración del centro de masas del cuerpo, aplicando la Segunda Ley de Newton,  $\vec{F}_r = M\vec{a}_{cm}$ , donde  $M$  es la masa total del sistema y  $a_{cm}$  es la aceleración del centro de masas.

Por tanto, Newton postuló la Tercera Ley de Newton para poder avanzar en la explicación física. El precio a pagar fue que únicamente se tiene información sobre la aceleración, velocidad y desplazamiento del centro de masas del cuerpo, lo que suele ser suficiente para la mayoría de los casos.

### 9.1.3 Principio físico a demostrar

La Tercera Ley de Newton, también denominada Principio de Acción-Reacción, enuncia: *“Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria, cada una aplicada en un cuerpo diferente. O sea, las acciones mutuas de los cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas”*. Dicho de otra manera, las fuerzas que se aplican en cuerpos diferentes, que son iguales, se aplican en la misma dirección y diferentes sentidos.

#### 9.1.4 Diseño del dispositivo

##### 9.1.4.1 Coche a reacción

Disponemos de un dispositivo como el mostrado en la Figura 4. El mismo consiste en un coche ligero de plástico con 4 ruedas, unido a un globo mediante un tubo de plástico, que puede cerrarse con un tapón. Al inflar el globo y liberarse el aire, el coche comenzará a moverse en dirección opuesta a la dirección de salida del aire.



Figura 4 – Coche a reacción del aire

A continuación, vamos a ir mostrando los fenómenos físicos que se manifiestan durante el desarrollo el experimento (A-Aire, C-Coche y G-Globo):

En la situación de reposo, tras inflar el globo y poner el tapón en el tubo, se generan varias fuerzas del mismo valor, pero de sentido opuesto, según la Tercera Ley de Newton. En cada una de las fuerzas que ejerce el

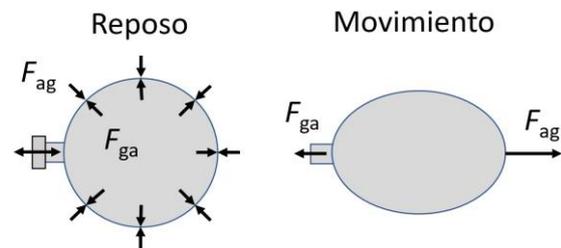


Figura 5 – Esquema de las fuerzas en el globo

aire sobre el globo aplicada en el globo y la fuerza que ejerce el globo sobre el aire aplicada en el aire, alcanzándose el equilibrio  $\vec{F}_{AG} = -\vec{F}_{GA}$  como se muestra en la Figura 5.

Al quitar el tapón, el aire comienza a salir del globo por el tubo. En este momento, seguimos teniendo las mismas fuerzas que antes, pero se desequilibran al haberse quitado el tapón, generándose una fuerza resultante aplicada sobre el globo, que ya no se anula con la que se aplicada sobre el tapón, al ser  $\vec{F}_{AG} > \vec{F}_{GA}$  que generará según la Segunda Ley de Newton una aceleración en sentido  $\vec{F}_{AG}$ . Si consideramos que el sistema formado por el coche, el globo y el aire está aislado, la resultante de las fuerzas externas aplicadas sobre este sistema es cero y, por tanto, el momento lineal del sistema se conserva: el momento lineal que adquiere el coche más el globo al moverse es igual y de signo opuesto al momento lineal que adquiere el aire en movimiento que escapa del globo. El momento lineal debe mantenerse en la situación inicial (inicio del movimiento) y final (reposo):

$$P_i = P_f \rightarrow m_A v_A + m_{GC} v_{GC} = 0 \rightarrow v_{GC} = -\frac{m_A v_A}{m_{GC}}$$

Por lo tanto, el experimento depende de las siguientes variables:

- Globo: A mayor presión del globo, mayor velocidad del coche.
- Masa del coche: A menor masa del coche, mayor velocidad.

#### 9.1.4.2 Dinamómetros

Para comprobar que las fuerzas que se generan son del mismo valor, pero de sentido contrario, se utilizarán un par de dinamómetros como el mostrado en la Figura 6. Un dinamómetro es un muelle alojado en el interior de un tubo de plástico con la escala de fuerza a medir obtenida a partir de la constante elástica  $k$  de dicho muelle (ver Ley de Hooke en el apartado 11.1.3 Principio físico a demostrar). Al unir dos dinamómetros y ejercer cierta fuerza sobre ellos, observaremos que ambos marcan el mismo módulo de la fuerza aplicada. Al no moverse, aplicando la Segunda Ley de Newton, obtenemos la conclusión de que la resultante es nula, demostrando la Tercera Ley de Newton.



Figura 6 –  
Dinamómetro

## 9.2 Guión

### **Tercera Ley de Newton – Ley de Acción-Reacción**

Curso y base curricular: Los principios físicos a demostrar en el experimento se encuentran incluidos en el bloque 4 “El movimiento y las fuerzas” de 4º de la ESO.

Objetivos: Entender que las fuerzas se aplican a pares simultáneamente en cada uno de los cuerpos: un cuerpo aplica una fuerza sobre otro y el segundo aplica una fuerza igual y de sentido contrario, sobre el primero.

Preconceptos: Hestenes et al. (1992, p. 3) identificaron varios preconceptos relacionados la Tercera Ley de Newton:

- Las fuerzas ejercidas entre dos cuerpos en contacto dependen de sus masas. A mayor masa, mayor reacción.
- Dificultad en reconocer que cada fuerza se aplica en un cuerpo diferente.

Materiales necesarios:

- Coche de juguete con globo incorporado.
- Dinamómetros
- Proyector, ordenador y conexión a internet.

Desarrollo teórico: Incluido en el apartado 9.1 *Desarrollo teórico*.

Consejos para el docente: En ocasiones el globo no mueve el vehículo de juguete. En ese caso, debemos de utilizar un vehículo más ligero y/o un globo más fuerte.

Desarrollo de la práctica:

**Coche y globo:**

*Predicción:* Presentamos el coche con el globo a los alumnos para que lo estudien con detenimiento y experimenten con él, para posteriormente pedirles que representen las fuerzas presentes y predigan lo que sucede al hinchar el globo del coche, poniendo el tapón, y tras retirar el mismo e iniciarse el movimiento para posteriormente compararlas con los compañeros.

*Observación:* Quitamos el tapón y el coche comenzará a moverse a gran velocidad.

*Explicación:* Pedimos de nuevo a los alumnos que representen la situación y que intenten establecer las causas por las que el coche se mueve, compartiendo sus ideas con el grupo y el docente para llegar a la conclusión de que el coche se mueve por un desequilibrio entre la fuerza que el globo ejerce sobre el aire y su reacción.

**Dinamómetros:**

*Predicción:* Presentamos los dinamómetros a los alumnos para que interaccionen con ellos. Tras explicarles que están formados por muelles, y cumplen por lo tanto la Ley de Hooke (ver apartado 11.1.3 *Principio físico a demostrar*) se indicará a estos que representen y predigan lo que sucede al unir dos dinamómetros (uno fijo) y ejercer fuerza hasta alcanzar el equilibrio para posteriormente compararlas con los compañeros.

*Observación:* Dos alumnos unirán dos dinamómetros y mientras uno está estático, el otro realice una fuerza. Una vez se alcance el equilibrio, se pedirá a un tercer alumno que lea las fuerzas que marcan los dos dinamómetros.

*Explicación:* Tras comprobar que son iguales, pediremos a los alumnos que revisen sus predicciones iniciales para ponerlo en grupo y con la guía del docente llegar a la conclusión de que las fuerzas son iguales, de la misma dirección, pero distinto sentido. Para apoyar la explicación, podemos utilizar la siguiente simulación Vašćák (s.f. c) en la que se muestra las fuerzas que se ejercen sobre dos dinamómetros.

## **10 Ley de Gravitación universal – Caída de graves**

### 10.1 Desarrollo teórico

#### 10.1.1 Introducción

La caída libre de un cuerpo es el movimiento debido únicamente al efecto del Campo Gravitatorio de la Tierra. La caída libre de los objetos es un problema que ha intrigado a la humanidad desde sus inicios. Entre las primeras observaciones de Aristóteles hasta la teoría de Gravitación Universal de Newton transcurrieron casi veinte siglos. Los alumnos, al ir descubriendo el mundo poco a poco y basándose en observaciones diarias, tienden a pensar como lo hizo Aristóteles en su momento. De ahí la importancia de seguir los razonamientos históricos para llegar a la conclusión de que los cuerpos en caída libre llegan al suelo a la vez, siempre que se dejen caer desde la misma altura y partiendo del reposo. Si no se cumple la premisa anterior, es debido al efecto del rozamiento con el aire.

#### 10.1.2 Contexto histórico

##### 10.1.2.1 *Inicios*

Según Menéndez (2018), el estudio de la gravedad fue iniciado por Aristóteles en el siglo III a.C., encontrándose en esa época vigente la teoría de que la materia estaba formada por cuatro elementos: aire, fuego, tierra y agua. Y, según Aristóteles, los elementos tienden a su “lugar natural”: elementos térreos y acuosos tienden a ir hacia el centro de la Tierra mientras que los elementos

ígneos o aéreos se alejan del centro de esta, observando cómo las piedras y otros elementos pesados caían hacia el centro de la Tierra mientras que el humo se alejaba del centro de la misma (Menéndez, 2018). Un caso especial era el de las semillas, que normalmente caían muy lentamente al suelo, pero en ciertas ocasiones, se movían o ascendían en un movimiento antinatural que más tarde fue explicado por la influencia del rozamiento del aire. Menéndez continúa describiendo como Aristóteles observó cómo los cuerpos pesados (piedras) caían más rápido de que los cuerpos ligeros (hojas), obteniendo la conclusión de que la velocidad de caída estaba asociada al peso del objeto. Esta concepción de la gravedad se mantuvo durante casi dos mil años (Menéndez, 2018).

#### *10.1.2.2 Revolución científica*

Según Güémez (2019, pp. 25-26), en el Renacimiento (siglo XVI) Giambattista Benedetti realizó un experimento para contrastar la teoría de Aristóteles que consistió en dejar caer dos objetos del mismo material (misma densidad), uno con el doble de masa que el otro para después dejarlos caer de nuevo, pero esta vez ambos cuerpos se unieron con una cuerda (con peso despreciable). Observó que en ambos casos los tres objetos caían a la vez, lo que correctamente interpretado, demostraría que Aristóteles estaba equivocado (Güémez, 2019, pp. 25-26).

Galileo Galilei realizó y teorizó varios experimentos relacionados con la gravedad (Güémez, 2019, pp. 32-34):

1. Dejar caer una piedra y después fragmentarla para dejar caer los trozos más pequeños: Experimento similar al realizado por Benedetti en el que obtiene el mismo resultado, que en todos los supuestos los objetos llegan al suelo al mismo tiempo.
2. Dejar caer desde la Torre de Pisa diferentes bolas de diferentes materiales. El resultado es que todas las bolas llegan al suelo casi a la vez, habiendo pequeñas diferencias entre las ligeras y las pesadas. Una vez más, se contradice la teoría Aristotélica.

### 10.1.2.3 *Teorías de Newton*

Continuando con la descripción histórica realizada por Menéndez (2018), en el siglo XVII, Isaac Newton con la Ley de Gravitación Universal y la Segunda Ley de Newton, demostró que la caída libre de los cuerpos era debida exclusivamente a la fuerza que la Tierra ejerce sobre los cuerpos, y por lo tanto, todos están sometidos a la misma aceleración, cayendo a la vez independientemente de su masa.

### 10.1.2.4 *Conclusión*

Una vez repasada la historia de la gravedad, podemos obtener como principal conclusión que todos los problemas y errores en las teorías se debían a que se desconocía o despreciaba el efecto del rozamiento del aire en la caída libre. Si se dejan caer dos objetos con densidades muy diferentes (pluma y martillo) en el vacío desde la misma altura, llegarán a la vez al suelo tal como se ha demostrado en la Luna o en cámaras de vacío.

## 10.1.3 Principios físicos a demostrar

### 10.1.3.1 *Ley de Gravitación Universal (gravedad)*

En la caída libre de un cuerpo sometido al efecto del campo gravitatorio se van a poner de manifiesto la Segunda Ley de Newton y la Ley de Gravitación Universal. La ecuación de la Ley de Gravitación Universal es  $F = G \frac{Mm}{r^2}$ , donde:

- $F$ : fuerza ejercida por el Campo Gravitatorio Terrestre en N.
- $G$ : constante de gravitación universal, con valor  $6,67 * 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$ .
- $M$  y  $m$ : masas en kg de los objetos ( $M$  la mayor y  $m$  la menor).
- $r$ : distancia en metros que separa ambos objetos, medida desde el centro de estos.

Aplicando la Segunda Ley de Newton al objeto que cae, y que el mismo únicamente estará sometido a la fuerza de atracción que existe entre él y la Tierra, obtenemos el valor de la aceleración constante (describiendo un MRUA) a la que está sometido en caída libre en el vacío cerca de la superficie de la Tierra, en cuyo caso la distancia que separa ambos cuerpos es el radio de la misma ( $r=R_t$ ):

$$\vec{F}_r = m\vec{a} \rightarrow G \frac{Mm}{r^2} = ma \rightarrow a = g = G \frac{M}{R_t^2}$$

A esta aceleración se le denomina aceleración de la gravedad ( $g$ ), y se mide en  $m/s^2$ . Como se deduce de la ecuación anterior, la aceleración depende de la masa de la tierra ( $M$ ) y de la distancia que separa ambos objetos ( $r=R_t$ ) pero es independiente de la masa del objeto que cae ( $m$ ).

#### 10.1.3.2 Rozamiento con el aire

Cuando la caída libre se produce en presencia de aire, el cuerpo está sometido a dos fuerzas: la fuerza de rozamiento entre este y el aire, y la fuerza ejercida por el campo gravitatorio terrestre tal y como se muestra en la Figura 7.

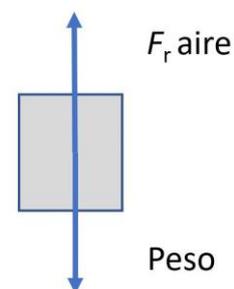


Figura 7 – Caída libre con aire

Diversos estudios han demostrado que el rozamiento del aire es función de la velocidad de caída, llegando a una velocidad crítica en la que ambas fuerzas se igualan. En este momento, aplicando la Segunda Ley de Newton, obtenemos que la resultante sobre el cuerpo es nula, y por lo tanto su aceleración será nula. Por lo tanto, una vez alcanzada la velocidad crítica, el cuerpo mantendrá su velocidad describiendo un MRU.

#### 10.1.4 Diseño del dispositivo

En este caso, no existe ningún juguete o dispositivo disponible para realizar el experimento debido al elevado valor de la aceleración de la gravedad ( $g \approx 10 m/s^2$ ). Por ello, utilizaremos objetos que estén disponibles tanto para el docente como el alumno, tales como folios, libros, bolígrafos y semillas.

### 10.2 Guión

#### **Ley de Gravitación Universal – Caída de Graves**

Curso y base curricular: La gravedad está incluida en el bloque 4 “El movimiento y las fuerzas” de los cursos 2º y 4º de la ESO mientras que la Ley de Gravitación Universal está incluida en el bloque 4 “El movimiento y las fuerzas” de 4º de la ESO.

Objetivos:

- Diferenciar los conceptos de masa y peso, relacionándolo con la aceleración de la gravedad.
- Mostar al alumno que la caída libre de los objetos está únicamente producida por la acción del campo gravitatorio terrestre (gravedad), mostrando el efecto que el aire ejerce en los cuerpos en caída libre.
- Ayudar al alumno, mediante la explicación teórica y la realización de experimentos sencillos, la transición justificada y ordenada del pensamiento Aristotélico al pensamiento Newtoniano.
- Calcular el valor de la aceleración de la gravedad.

Preconceptos: Kavanagh y Sneider (2006, p. 23) y Hestenes et al. (1992, p. 3) identificaron varios preconceptos relacionados con la caída libre:

- La gravedad no es una fuerza.
- Los objetos pesados caen más rápido que los ligeros.
- La gravedad atrae únicamente a objetos pesados, lentos o en reposo.
- La presión atmosférica produce la gravedad.
- El valor de la gravedad varía cada pocos metros.
- La gravedad aumenta a medida que los objetos caen.
- Gravedad no es lo mismo que campo gravitatorio.

Materiales necesarios:

- Esterilla de gimnasia, cartón o superficie blanda que amortigüe el impacto de los objetos más pesados.
- Bolígrafo, folios, libros, objetos de la misma densidad, pero de distinto tamaño y semillas.
- Pelota de tenis o similar.
- Cámara de vídeo.
- Programa Tracker (Brown, 2020)
- Proyector, ordenador y conexión a internet.

Desarrollo teórico: Incluido en el apartado *10.1 Desarrollo teórico*.

Consejos para el docente:

- Para aumentar la distancia de caída libre, y que la diferencia de caída entre los objetos sea mayor, recomendamos subirse a una silla.
- Para que el programa Tracker (Brown, 2020) identifique correctamente el objeto en caída libre, el mismo ha de ser de un color que destaque con el color de la pared del fondo. Recomendamos además centrar la cámara y soltar el objeto cerca de una pared para facilitar el análisis de los datos.

Desarrollo de la práctica:

*Predicción:* Con todos los materiales preparados, explicaremos los principios físicos y pediremos a los alumnos que calculen el valor de la aceleración de la gravedad de forma analítica y que predigan justificadamente cuáles de los objetos en cada una de las tres etapas citadas en el desarrollo histórico (apartado 10.1.2 *Contexto histórico*) llegará antes al suelo, comparando la respuesta con los compañeros:

- *Fase inicial:* bolígrafo o folio / libro o folio. El bolígrafo y el libro caen mucho más rápido que el folio.
- *Revolución científica:* Evidenciar el efecto del aire.
  - folio arrugado o folio: El folio arrugado cae más rápido que el folio.
  - libro o folio para después unir el folio y el libro: El libro cae más rápido que el folio, pero al unirlos, caen a la vez.
- *Teoría de Newton:* describir la caída libre de una semilla, demostrando el efecto del aire en su movimiento.

*Observación:* Realizamos en orden los experimentos anteriores, grabando la caída libre de la pelota para obtener el valor de la aceleración con Tracker (Brown, 2020)

*Explicación:* Una vez realizados todos los experimentos, los alumnos revisan sus predicciones iniciales y las comparten con los compañeros. El docente irá recopilando y corrigiendo dichas conclusiones, para acercarlos paulatinamente a la explicación real, diferenciando entre peso y masa, explicando el efecto del aire en la caída libre y apoyando la explicación mediante la proyección de dos vídeos muestran la caída libre de objetos en el vacío (BBC, 2014) y

(Cibermitanios, 2014), y una simulación con el experimento de Galileo en la torre de Pisa (Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, 2013). Para finalizar, se mostrará a los alumnos de la aceleración de la gravedad obtenidos con el programa Tracker (Brown, 2020), confirmando que los valores teóricos y reales son muy similares (ver *C4 Ley de Gravitación universal – Caída de graves*).

## **11 Ley de Hooke**

### 11.1 Desarrollo teórico

#### 11.1.1 Introducción

Los muelles y resortes forman una parte importante de nuestro día a día sin que la mayoría de las veces nos percatemos de ello. Están presentes en los amortiguadores de coches y trenes, en las cerraduras de nuestras casas, en los juguetes, en los relojes e incluso en los bolígrafos.

Un muelle es un componente mecánico que es capaz de almacenar energía en forma de deformación elástica (Energía Potencial Elástica) al ser sometido a una fuerza. Una vez desaparece la fuerza que ha originado la deformación, el muelle en general vuelve a su estado inicial, cediendo la Energía Potencial Elástica que había almacenado.

#### 11.1.2 Contexto histórico

Desde la antigüedad se vienen utilizando dispositivos capaces de almacenar energía mecánica para entregarla en el momento requerido. Un ejemplo es el arco, que al ser deformado almacena energía que transferirá posteriormente a una flecha. A finales de la Edad Media, se empezaron a utilizar los primeros resortes en máquinas, como las diseñadas por Leonardo Da Vinci.

Horibe (s.f.) nos indica que, a mediados del siglo XVII, los navegantes marinos se encontraban con el problema de determinar con exactitud la latitud a la que se encontraban, vital para seguir la ruta marcada y evitar peligros. Horibe menciona que la mejor forma para determinar la longitud de forma precisa era mediante el uso de relojes; sin embargo, en aquella época los relojes no eran precisos ni se podían transportar fácilmente. Horibe indica que dos inventores se lanzaron a la carrera para diseñar un reloj preciso y económicamente viable, por

un lado, Christiaan Huygens en 1665 patentó un reloj basado en un péndulo, pero rápidamente otro científico, Robert Hooke, resaltó los problemas de precisión del uso de un péndulo en un barco. Hooke continuó mencionando que había diseñado un reloj basado en un muelle helicoidal, que no se vería afectado por el movimiento del barco, pero por problemas con las patentes y otros desencuentros con otros miembros de la Royal Society, fue finalmente Huygens quien patentó el reloj helicoidal en 1675. Hooke continuó trabajando con muelles, hasta que en 1678 enunció en su obra “*De potencia restitutiva*” la ley que lleva su nombre (Horibe, s.f.).

### 11.1.3 Principio físico a demostrar

La ley de Hooke enuncia que el alargamiento de un muelle es directamente proporcional al módulo de la fuerza aplicada. La ley es válida siempre que el muelle no se deforme de forma permanente, es decir, que únicamente sufra deformaciones elásticas. En la Figura 8 se muestra el efecto del muelle al ser sometido a una fuerza externa. Aplicando la Tercera Ley de Newton, el muelle ejercerá una fuerza elástica ( $F_e$ ) de igual módulo y dirección, pero sentido opuesto a la fuerza aplicada  $F$ . La ecuación que define la Ley de Hooke es  $F = k\Delta L$ , que aplicada a la situación final  $F_f = k\Delta L \rightarrow P_m + P_p = k\Delta L \rightarrow (m_m + m_p)g = k(L - L_0)$ , donde:

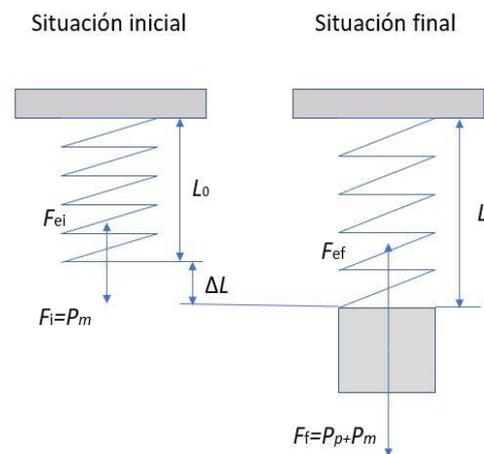


Figura 8 – Alargamiento del muelle al ser sometido a una fuerza  $F$

- $F$ : módulo de la fuerza aplicada en N. En la situación inicial la fuerza aplicada será igual al peso del muelle ( $F_i = P_m$ ) que producirá un alargamiento  $L_0$  mientras que en la situación final la fuerza aplicada es el peso del peso ( $P_p$ ) y del muelle ( $P_m$ ) ( $F_f = P_m + P_p$ ) que producirá un alargamiento final  $L$ .
- $k$ : constante elástica del muelle en N/m.

- $\Delta L=(L-L_0)$ : alargamiento producido por la aplicación de la  $F$  en m. Es la diferencia entre la longitud final ( $L$ ) del muelle tras someterle a  $F$  y la longitud inicial del mismo ( $L_0$ ) al ser sometido a su propio peso, como se muestra en la Figura 8.

#### 11.1.4 Diseño del dispositivo

Para realizar el experimento, utilizaremos el dispositivo mostrado en la Figura 9, que consiste en una base con un gancho, sobre la que colgaremos los muelles, pesos de masa conocida, y un metro independiente. Para iniciar el experimento, colgaremos un muelle del soporte y observamos que el mismo va a sufrir una deformación debida al equilibrio que se alcanza entre la fuerza elástica del muelle y el peso del mismo. Esperamos unos segundos hasta que se ha estabilizado para evitar errores de medida, midiendo la longitud en reposo ( $L_0$ ). A continuación, colgamos los distintos pesos, midiendo la longitud del muelle en cada caso previa estabilización.

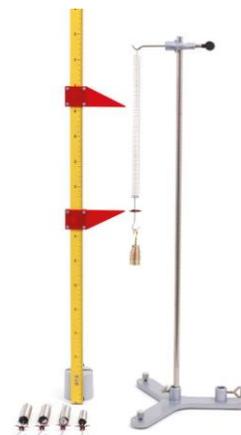


Figura 9 – Muelle con base y metro

Por lo tanto, el funcionamiento del dispositivo depende de las siguientes variables:

- Constante elástica  $k$  del muelle elegido: A mayor  $k$ , menores alargamientos para la misma masa.
- Masas: A mayor masa, mayor fuerza aplicada y mayor alargamiento.

#### 11.2 Guión

##### Ley de Hooke

Curso y base curricular: La Ley de Hooke y los muelles están incluidos en el bloque 4 “El movimiento y las fuerzas” de 2º de la ESO.

##### Objetivos:

- Relacionar la deformación producida al aplicarse una fuerza estableciendo la relación entre el alargamiento de un muelle y la fuerza aplicada.
- Calcular la constante elástica del muelle ( $k$ )

- Entender el funcionamiento de los dinamómetros.

Preconceptos: Tras el desarrollo de la práctica, se detectaron los siguientes preconceptos:

- Peso es igual a masa.
- Las deformaciones del muelle no son proporcionales a las fuerzas aplicadas.

Materiales necesarios:

- Muelles.
- Diferentes masas de valor conocido.
- Regla.
- Soporte.
- Proyector, ordenador y conexión a internet.

Desarrollo teórico: Incluido en el apartado *11.1 Desarrollo teórico*.

Consejos para el docente:

- No todos los muelles cumplen la ley de Hooke. Antes de realizar el experimento, se deberá comprobar experimentalmente.
- El dispositivo para medir la longitud ha de ser lo más preciso posible.
- En general, si el muelle se encuentra inicialmente muy comprimido, hay que empezar a tomar medidas cuando se encuentre lo suficientemente estirado.
- Para medir las deformaciones del muelle, el mismo ha de ser largo, no demasiado rígido y sufrir deformaciones apreciables y medibles.

Desarrollo de la práctica:

*Predicción:* Presentamos el dispositivo a los alumnos para que lo estudien con detenimiento y experimenten con él, y permitiendo a los alumnos que realicen sus predicciones sobre el comportamiento del muelle al ser sometido a diferentes fuerzas y las comparen con los compañeros.

*Observación:* Para iniciar el experimento, colgamos un muelle del soporte. Una vez estabilizado, medimos la longitud en reposo ( $L_0$ ). A continuación, colgamos

distintos pesos y medimos la longitud del muelle en cada caso previa estabilización.

*Explicación:* Una vez obtenidos todos los datos, se pedirá a los alumnos de nuevo que analicen los mismos representando la fuerza (N) frente alargamiento (m). Una vez realizada dicha reflexión, preguntaremos si existe relación entre la longitud y la fuerza aplicada y si serían capaces de estimar la longitud del muelle al someterle a una fuerza conocida. Finalizaremos corrigiendo en grupo las respuestas de los alumnos tras haber analizado sus observaciones iniciales, dando las explicaciones necesarias, introduciendo la Ley de Hooke, la constante elástica del muelle ( $k$ ) y el funcionamiento de los dinamómetros.

Para comprobar si han entendido el experimento y sus principios físicos, proponemos plantear el mismo experimento, pero realizado en la luna donde la gravedad es menor, ayudando al alumno a diferenciar entre masa y peso ( $P = mg$ ) al ser los alargamientos diferentes y a comprobar que la constante elástica del muelle ( $k$ ) es una característica fija de este. Para comprobar sus resultados, pueden utilizar la siguiente simulación PheT Interactive Simulations (2020)

## **12 Presión atmosférica – Hemisferios de Magdeburgo**

### 12.1 Desarrollo teórico

#### 12.1.1 Introducción

Desde el momento en que nacemos, estamos rodeados del aire y sometidos a la presión atmosférica. Dicha presión ejerce fuerza sobre la superficie de los objetos que se encuentran en su seno. Sin embargo, no es fácil darse cuenta la magnitud de la presión atmosférica al estar sometidos continuamente a ella y al estar sometidos a la misma presión en el exterior e interior de nuestros cuerpos. Como ejemplo comparativo, los peces viven en agua y no notan la presión hidrostática mientras que nosotros con introducir la cabeza bajo el agua nos basta para apreciar sus efectos. Tal vez esta es la razón por la que se tardó siglos en estudiarse y analizarse convenientemente.

### 12.1.2 Contexto histórico

Según Marquardt (1999), en el siglo XVII Evangelista Torricelli con ayuda de Galileo, consiguió crear en 1644 vacío artificialmente al realizar su famoso experimento, mediante el cual se midió la presión que equilibra la presión de una columna de mercurio (presión atmosférica) con un tubo invertido usando mercurio en vez de agua, lo que dio lugar a la invención del barómetro. Marquardt continúa mencionando que al mismo tiempo, en Magdeburgo, Otto von Guericke inventó la primera bomba de extracción de aire, gracias a la cual pudo realizar el experimento que le haría famoso: “*Los hemisferios de Magdeburgo*”. Marquardt describe que el experimento consistió en extraer la mayor parte del aire contenido en el interior de una esfera de cobre de 50 cm de diámetro, formada por dos semiesferas o hemisferios unidas mediante una junta de cuero y grasa. La esfera tenía dos argollas diametralmente opuestas, y en cada una de ellas se ataron 8 caballos, resultando imposible separarla a pesar de estar sometida a la fuerza simultánea de 16 caballos (Marquardt, 1999). Se demostró por primera vez la magnitud de la denominada fuerza del vacío: si se hace el vacío en un recipiente, la presión atmosférica ejercerá una fuerza no compensada en su interior sobre el mismo.

### 12.1.3 Principio físico a demostrar

La presión atmosférica es la componente normal de la fuerza que ejerce el peso de una columna de aire por unidad de superficie en un punto de la superficie terrestre, cuyo valor a nivel del mar se considera 101.325 Pa. Se expresa matemáticamente como  $P = \frac{F}{S}$ , donde:

- $P$ : presión en Pa.
- $F$ : fuerza en N.
- $S$ : sección en  $m^2$ .

De la ecuación anterior, se deduce la fuerza que ejerce la presión atmosférica en un punto determinado de una superficie  $P = \frac{F}{S} \rightarrow F = PS$ , que para una superficie de 1  $m^2$  a nivel de mar es 101.325 N, que equivale a la fuerza que sobre la superficie de 1  $m^2$  ejerce una masa de 10.400 kg. Como hemos indicado en la introducción, no somos conscientes ni observamos los efectos de esta gran

presión al estar sometidos a la misma en el interior del cuerpo. Para evidenciar sus efectos, se deberá de crear una diferencia de presión, y por lo tanto una diferencia de fuerza o fuerza resultante  $\Delta F = \Delta PS$ .

#### 12.1.4 Diseño del dispositivo

Para realizar el experimento utilizaremos un par de ventosas como las mostradas en la Figura 10, formadas por una membrana de plástico y un pistón que al ser accionado manualmente mediante las asas hace palanca y empuja la membrana hacia



abajo, expulsando la mayor parte del aire que había entre la superficie y el pistón, sin permitirle volver a entrar. El vacío parcial que se crea permite a la presión atmosférica fijar firmemente la ventosa contra la superficie. Para explicar el funcionamiento de la ventosa, analizaremos los 3 casos mostrados en la Figura 11, donde:

- $P_{atm}$  y  $F_{atm}$  son la presión y la fuerza de la atmosfera o exterior
- $P_{vent}$  y  $F_{vent}$  es la presión y la fuerza en el interior de la ventosa
- $\Delta P$  es la diferencia de presión entre la  $P_{atm}$  y  $P_{vent}$ .
- $F_r$  es la resultante entre la  $F_{atm}$  y la  $F_{vent}$ .

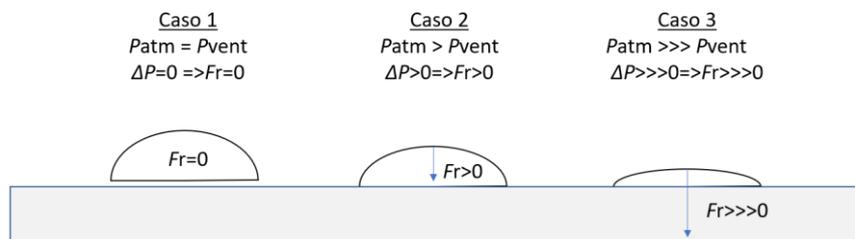


Figura 11 – Casos de estudio del comportamiento de la ventosa

- Caso 1 (Asas paralelas): Ventosa libre y sometida a la misma presión la presión ( $P_{atm}$ ) en ambas caras, por lo que la  $\Delta P$  es 0 y la  $F_r$  es 0.
- Caso 2 (Asas en posición intermedia): Ventosa ligeramente pegada a la superficie, parte del aire atrapado entre esta y la superficie ha escapado al exterior. Esto crea una  $\Delta P$  pequeña, al ser la  $P_{atm}$  ligeramente superior a la  $P_{vent}$ , que a su vez genera una  $F_r$  pequeña.

- Caso 3 (Asas perpendiculares): Ventosa muy pegada, apenas queda aire atrapado entre esta y la superficie. En esta situación, se genera una  $\Delta P$  grande al ser la  $P_{\text{vent}}$  muy inferior a la  $P_{\text{atm}}$ , dando lugar a una  $F_r$  grande.

El cualquier caso, para despegar la ventosa debemos aplicar una fuerza de módulo superior a la  $F_r$  y aplicarla en sentido opuesto. En el caso 3, es muy difícil despegar la ventosa de la superficie debido a que, si suponemos una ventosa de 5 cm de radio, con una superficie de  $S = \pi r^2 = \pi * (0,05 \text{ m})^2 \approx 79 * 10^{-4} \text{ m}^2$ , y una diferencia de presión de  $10^5 \text{ Pa}$ , la atmosfera ejerce una fuerza de  $F = PS = 79 * 10^{-4} \text{ m}^2 * 10^5 \text{ Pa} = 790 \text{ N}$ , que equivale a la fuerza que ejerce una masa de 80 kg, resultando muy difícil separarlas.

Por lo tanto, el experimento depende de las siguientes variables:

- Porosidad de la superficie: En superficies porosas no es posible evitar que el aire escape a través de esta mientras que en las no porosas el aire no puede escapar.
- Diferencia de presión entre las caras interna y externa de la ventosa: A mayor diferencia, mayor fuerza resultante.
- Superficie de la ventosa: A mayor superficie, mayor fuerza.

## 12.2 Guión

### **Presión Atmosférica – Hemisferios de Magdeburgo**

Cursos y base curricular: La presión atmosférica está incluida en el bloque 4 “El movimiento y las fuerzas” de 4º de la ESO.

#### Objetivos:

- Mostrar el efecto y la magnitud de la presión atmosférica.
- Mostrar la relación entre fuerza, presión y superficie.

Preconceptos: Azizoğlu y Geban (2004, p. 76), identificaron los varios preconceptos relacionados con la presión y los gases:

- Los gases no poseen masa.
- Los gases no ocupan volumen.
- La presión únicamente se ejerce hacia abajo.

Materiales necesarios:

- Superficie no porosa (cristal, azulejo)
- Superficie porosa (madera, papel, cartón)
- Ventosas.
- Globo.
- Proyector, ordenador y conexión a internet.

Desarrollo teórico: Incluido en el apartado 12.1 *Desarrollo teórico*

Consejos para el docente: Recomendamos tener las superficies y ventosas limpias y libres de grasa para evitar problemas de adherencia.

Desarrollo de la práctica:

*Predicción:* Comenzamos el experimento explicando el principio físico a demostrar y mostrando la ventosa a los alumnos para que investiguen el material y la forma de esta, para posteriormente preguntarles si la ventosa se pegará en una superficie no porosa (cristal) y en una superficie porosa (madera, cartón), la influencia que tiene el grado de pegado de la ventosa en la fuerza necesaria para despegarla y si existe alguna diferencia entre pegarla en la parte superior o inferior de una superficie, para justificar sus predicciones y discutir las con sus compañeros.

*Observación:* Realizaremos los pegados sobre superficies porosas y no porosas, con diferentes niveles de pegado. Para mostrar la magnitud de la presión atmosférica, se pedirá a dos alumnos que peguen las dos ventosas entre sí e intenten separarlas (recreando el experimento de los Hemisferios de Magdeburgo)

*Explicación:* Los alumnos revisan sus observaciones iniciales y las comparten posteriormente con los compañeros, mientras que el docente guía a los alumnos hacia las respuestas correctas. Para evidenciar la magnitud de la presión atmosférica, el docente calculará de aproximada la fuerza necesaria para separar los hemisferios. Una semiesfera de 50 cm de diámetro tiene una superficie libre, sobre la que va a actuar la atmósfera, de  $S = \pi r^2 = \pi * (0,25)^2 \approx 0,2\text{m}^2$  y una diferencia de presión de  $10^5$  Pa, la atmósfera ejerce una fuerza de

$F = PS = 0,2 * 10^5 = 20000 \text{ N}$ , que corresponde a unos 2000 kg. Si un caballo puede levantar unos 300 kg, se necesitan unos 7 caballos por cada hemisferio. Posteriormente, recomendamos reproducir el siguiente vídeo de la recreación del experimento de los hemisferios de Magdeburgo (JoseAMrod, 2013).

Una vez que los alumnos hayan entendido la magnitud de la presión atmosférica, se les preguntará por el origen de dicha presión. Tras obtener sus respuestas, se les comparará el agua con el aire, para que obtengan la conclusión de que el aire tiene masa. Para finalizar, mostremos que la presión se ejerce en todas las direcciones y que los gases ocupan volumen, inflando un globo.

## **13 Flotabilidad – Buzo de Descartes**

### 13.1 Desarrollo teórico

#### 13.1.1 Introducción

El buzo de Descartes (también conocido como ludión (de la palabra lúdico, divertido) o diablillo) es un dispositivo que permite mostrar cómo la aplicación de una pequeña fuerza es capaz de producir grandes desplazamientos en objetos sumergidos en fluidos y las condiciones “reales” que se deben de dar para que un objeto flote (Güémez, 2007).

El experimento consiste en introducir en una botella de plástico un tubo de ensayo invertido sin el tapón (es decir, que la parte inferior del tubo esté abierta al intercambio de agua). Al cerrar la botella con su tapón y aplicar presión en las paredes de la misma, el tubo se desplaza hacia su fondo, y al cesar dicha presión, el tubo vuelve a ascender.

#### 13.1.2 Contexto histórico

Según Laín Beatove (2003), Aristóteles fue el primero en preguntarse la razón por la que los objetos flotaban, observando como objetos planos de metal flotaban mientras que agujas metálicas se hundían, obteniendo la conclusión de que para sumergirse el objeto debía “abrir” o romper la superficie del agua.

En el siglo III, Arquímedes enunció su famoso principio “*Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado*”, del cual se obtiene las conclusiones de que un cuerpo homogéneo

más denso que el fluido en el que se coloca, se hundirá y un cuerpo menos denso que el fluido, flotará, y que si el cuerpo no es homogéneo, por ejemplo, una bola de metal hueca o un barco de acero, puede llegar a flotar siempre que consiga desalojar un volumen de agua que tenga un peso mayor que el suyo propio.

En el siglo XVII, Galileo Galilei continuó con los estudios de la flotabilidad partiendo de las ideas previas de Aristóteles, que desechó, y Arquímedes. Utilizando razonamientos diferentes llegó a la misma conclusión que Arquímedes había obtenido siglos antes (Laín Beatove, 2003).

En 1648, Raffaello Maggiotti realizó la primera descripción del funcionamiento del Buzo de Descartes para posteriormente ser introducido en los gabinetes científicos y en demostraciones públicas en diferentes países europeos para posteriormente incorporarse definitivamente a los sistemas educativos (Güémez, 2007).

### 13.1.3 Principios físicos a demostrar

La flotabilidad de un cuerpo que se encuentre libre en el seno de un fluido estará definida por el equilibrio existente entre las fuerzas que se ejercen sobre el mismo, como se muestra en la Figura 12:

- Empuje ( $E$ ) producido por el peso del volumen de fluido desalojado por el objeto sumergido según el Principio de Arquímedes en N,  $E = V_d g \rho$ , donde:
  - $V_d$ : volumen de fluido desalojado por el objeto sumergido en  $m^3$ .
  - $g$ : aceleración de la gravedad en  $m/s^2$ .
  - $\rho$ : Densidad del fluido en  $kg/m^3$ .
- Peso ( $P$ ) en N producido por el Campo Gravitatorio Terrestre  $P = m.g$

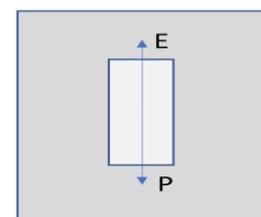


Figura 12 – Fuerzas a las que se encuentra sometido un cuerpo libre en el seno de un fluido

En función del peso del fluido desalojado por el objeto, o empuje ( $E$ ), el mismo se encontrará en uno de los siguientes supuestos (la masa del objeto es constante ( $P=cte$ )):

- $E > P$ : La resultante empuja el objeto hacia la superficie, flotando.
- $E = P$ : La resultante es nula y el objeto se encontrará flotando en una posición intermedia totalmente sumergido.

- $E < P$ : La resultante empuja el objeto hacia abajo, hasta tocar fondo.

Igualando el valor del empuje ( $E$ ) al peso ( $P$ ), obtenemos  $E = P \rightarrow V_d g \rho_A = m g$ . Simplificando la aceleración de la gravedad  $g$  y sustituyendo  $m_A = V_d \rho_A$ , obtenemos  $m_A = m$ . Es decir, que la masa de agua desplazada por el objeto es igual a la masa del objeto.

#### 13.1.4 Diseño del dispositivo

Para realizar el experimento, utilizaremos un dispositivo como el mostrado en la Figura 13, que se trata de un tubo de vidrio invertido decorado para parecer un diablo, además de una botella de plástico flexible con tapón llena de agua. Para explicar el funcionamiento del dispositivo, se ha utilizado la explicación de Güémez (2007).



Figura 13 – Buzo de Descartes

Para explicar el comportamiento del buzo, consideramos que el mismo está formado por un tubo de vidrio invertido en agua, con una burbuja de aire de volumen inicial  $V_i$  (es decir, que parte del tubo está lleno de agua) en el interior de una botella cerrada a una presión inicial  $P_i$  como se muestra en la Figura 14.

En el estado inicial, parte del tubo sobresale fuera del agua, por lo que el peso del volumen de agua desalojado por el tubo y la burbuja de aire ( $V_{di}$ ) es superior al peso del ( $P$ ). Nótese que el volumen de agua desalojada en este caso no es el volumen total de la burbuja de aire  $V_i$ , si no  $V_{di}$ , que corresponde al volumen de la burbuja contenida entre la superficie inferior y el nivel de agua.

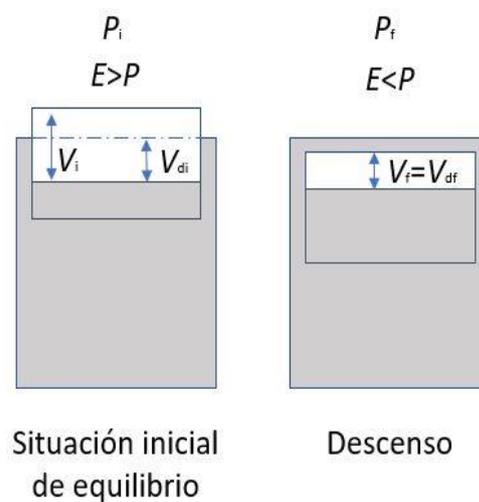


Figura 14 – Estados del buzo

Al presionar las paredes de la botella, la presión del agua contenida en la misma aumentará y se transmitirá a todo el sistema, incluyendo la burbuja de aire atrapada en el buzo, según el principio de Pascal. Dicha presión comprimirá la burbuja de aire. Según la ley de Boyle, y considerando que el aire es un gas

ideal, misma cantidad de aire y temperatura constante, el producto  $PV = cte$ . Por lo tanto, cada pequeño incremento en la presión generará una pequeña disminución en el volumen de la burbuja  $(P_i + \Delta P)(V_i - \Delta V) = cte$ , hasta alcanzar la presión crítica tal que se igualen el empuje  $E$  y el peso  $P$  al alcanzarse el tamaño mínimo de burbuja capaz de equilibrar el peso del buzo. En este punto, el tubo se encuentra totalmente sumergido en el líquido, y el volumen de agua desplazada se corresponde con el volumen de la burbuja de aire  $V_{df} = V_f$ .

Si seguimos aumentando la presión, el volumen de la burbuja de aire y, por tanto, el peso del volumen de agua desalojado o empuje ( $E$ ), seguirá reduciéndose, siendo inferior al peso del tubo  $P$ , generándose una fuerza resultante vertical negativa que desplaza el tubo hacia el fondo de la botella.

Al reducir la presión en la botella, se incrementa el volumen de la burbuja de aire aumentando a la vez el peso del volumen de agua desalojado, incrementando el empuje ( $E$ ) hasta que el mismo sea superior al peso, generando una fuerza resultante vertical positiva que desplaza el buzo a la superficie del agua.

## 13.2 Guión

### **Flotabilidad – El Buzo de Descartes**

Curso y base curricular: La flotabilidad y los principios incluidos en el experimento están incluidos en el bloque 4 “El movimiento y las fuerzas” de 4º de la ESO.

#### Objetivos:

- Entender las variables que influyen en la flotabilidad de los objetos:
  - Cuerpo homogéneo: la flotabilidad depende de la densidad del cuerpo, hundiéndose en un fluido menos denso y flotando en uno más denso.
  - Cuerpo no homogéneo como el buzo de Descartes, hecho de vidrio y con una burbuja de aire: la flotabilidad depende de factores como la presión, además de la densidad del líquido.
- Observar experimentalmente los principios presentes en el experimento:
  - Principios de Pascal: Al comprimir un fluido (apretar la botella), la presión se propaga uniformemente en todas las direcciones.

- Ley de Boyle: Al aumentar la presión del fluido, disminuye el volumen de la burbuja de aire y viceversa.
- Principio de Arquímedes: El tubo flotará o se hundirá en función del empuje al que está sometido el tubo (depende del tamaño de la burbuja de aire)

Preconceptos: Melo Niño, Sánchez, Cañada y Martínez (2016, pp. 13-14) identificaron los siguientes preconceptos relacionados con la flotabilidad y el Principio de Arquímedes:

- Aplican el Principio de Arquímedes de memoria, sin analizar las fuerzas que se ejercen y las interacciones existentes.
- No tienen clara la dirección de la fuerza de empuje.
- Empuje como sinónimo de presión.
- Un objeto disminuye su peso al estar sumergido en un fluido, sin tener en cuenta el empuje y que el peso es el mismo dentro y fuera del agua.
- No reconocen la interacción entre el líquido y el cuerpo.

Materiales necesarios:

- Botella de plástico con tapón llena de agua.
- Buzo de Descartes.
- Proyector, ordenador y conexión a internet.

Desarrollo teórico: Incluido en el apartado *13.1 Desarrollo teórico*.

Consejos para el docente:

- Este experimento es bastante sencillo y reproducible, pero se debe tener en cuenta que la botella ha de estar lo más llena posible, de esta manera efectuaremos de forma más eficaz y con menor deformación de la botella la presión necesaria.
- Para que el experimento sea más espectacular, podemos hacer creer a los alumnos que podemos controlar el buzo con la mano izquierda. Para ello sujetamos la botella con la mano derecha con la excusa de que no se caiga, y distraemos a los alumnos para que no se percaten de que estamos apretando la botella en el lado opuesto al que ellos pueden ver.

Desarrollo de la práctica:

*Predicción:* Mostramos el dispositivo, explicando el funcionamiento de este y los principios físicos que se van a poner de manifiesto para que los alumnos razonen su predicción de la relación entre los principios físicos y el comportamiento del buzo, compartiéndola con la de los compañeros.

*Observación:* Realizamos el experimento introduciendo el buzo dentro de la botella llena de agua, cerrado el tapón de tal manera que no tengamos fugas ni pérdidas de presión y asegurándonos de que flota. Ejercemos presión con la mano. En función de la presión ejercida, el buzo descenderá o ascenderá. Si mantenemos la presión cuando el buzo se encuentra en una posición intermedia, se mantendrá en equilibrio inestable en dicha posición. A continuación, dejamos que los alumnos experimenten y observen lo que sucede. Podemos apoyar la explicación con la siguiente simulación Vaščák (s.f. a), en la que se observa claramente el efecto de la presión sobre la burbuja de gas y sobre la flotabilidad.

*Explicación:* Los alumnos revisarán sus observaciones iniciales y las compararán con los compañeros. El docente progresivamente introducirá los tres principios físicos que están presentes en el experimento y lentamente vamos dándoles pequeñas pistas que les guíen hacia la solución y a entender que, para un cuerpo no homogéneo, hay varios factores, además de la densidad del fluido, que determinan si el cuerpo flota o se hunde y formulando preguntas similares a las siguientes:

- ¿Por qué al comprimir las paredes la burbuja disminuye de tamaño?
- ¿Qué efecto tiene la burbuja en la flotabilidad?
- ¿A qué fuerzas está sometido el cuerpo?

Finalmente, pondremos todas las ideas en común comparándolas con la explicación real del experimento, explicando el funcionamiento de la flotabilidad de un submarino y utilizando la siguiente simulación PheT Interactive Simulations (2011).

## **14 Conclusiones**

Durante el desarrollo de este trabajo he descubierto que, a pesar de proceder de la rama de la ingeniería y de haber impartido durante las prácticas docencia de algunos de los principios físicos analizados, aún tengo dudas y preconceptos que debería haber eliminado hace años. Esto se ha manifestado al tener que describir el funcionamiento de los dispositivos a utilizar, cometiendo errores en la explicación del fenómeno y en identificar las causas y principios físicos complejos que lo producen, al igual que podía haber cometido cualquier alumno o docente. De lo anteriormente mostrado, deducimos que los preconceptos son difíciles de eliminar, perdurando más que los conceptos correctos.

La definición y desarrollo de los guiones ha supuesto una ingente cantidad de trabajo. La mayor dificultad ha sido el ponerse en la piel del docente, para redactar y organizar la práctica de forma adecuada debido a que este debe intentar anteponerse siempre a las dificultades de los alumnos, estando atento a los preconceptos que pueden surgir durante la impartición de la docencia.

Todos los guiones propuestos se han desarrollado exitosamente en casa utilizando juguetes y objetos cotidianos, obteniendo los resultados esperados con relativa precisión, tal y como se muestra en el *Anexo C: Validación y desarrollo de las prácticas*. Al desarrollarlos desde el rol de docente y el rol de alumno, ha permitido detectar posibles debilidades y oportunidades de mejora en los guiones originalmente propuestos, además de aumentar mi comprensión sobre los principios físicos.

El uso conjunto de la metodología POE, contextualización histórica, preconceptos y uso de juguetes y objetos cotidianos ha permitido elaborar unos guiones de prácticas destinados a mejorar la comprensión ordenada y eficaz del principio físico, guiando al alumno a construir modelos mentales duraderos que puedan ayudar a desplazar el preconcepto inicial. Para reforzar el aprendizaje, hemos apoyado la explicación mediante el uso de vídeos o simulaciones virtuales accesibles en cualquier momento y cualquier lugar.

Los guiones propuestos pueden ser utilizados por los docentes como una estructura básica inicial de apoyo en la elaboración de futuros experimentos,

pudiendo poner en práctica cualquiera de las 7 propuestas diseñadas antes de desarrollar sus propios experimentos. Esto permitirá evaluar la idoneidad y la efectividad del experimento sin tener que invertir horas de trabajo, favoreciendo su uso e incrementando las posibilidades de ser añadido como herramienta pedagógica.

Tras el desarrollo del presente trabajo, proponemos las siguientes mejoras:

- Realizar cursos de formación para los docentes, donde aprendan la manera adecuada de plantear y realizar los experimentos, revisando sus propios conocimientos para detectar preconceptos y depurar su conocimiento.
- Fomentar el uso de actividades extraescolares similares a “*Aula: Espacio Tocar La ciencia*” desarrollado por la Universidad de Cantabria, en la que los alumnos interaccionan directamente con la física mediante el desarrollo de experimentos. Esto servirá para dar a conocer y poner en valor el uso de los experimentos en la enseñanza de la física.

Para finalizar, proponemos como futuras líneas de trabajo o investigación:

- Aplicar a diferentes grupos de alumnos por parte de diferentes docentes los guiones propuestos para comprobar su validez e idoneidad.
- Adaptar los guiones propuestos para que los alumnos puedan reproducirlos de forma autónoma, adecuándolos al lenguaje y forma de pensar de estos.

## **15 Agradecimientos**

Me gustaría agradecer a Julio Güémez Ledesma su trabajo, apoyo, entusiasmo y colaboración en la elaboración del presente trabajo. Me ha mostrado que la física puede enseñarse de otra manera, donde los experimentos son la clave para motivar a los alumnos e incrementar su interés por la física.

## 16 Referencias

- Aguirre de Carcer, I. (1983). Dificultades en la comprensión de las explicaciones de los libros de texto de física. *Enseñanza de las ciencias*, 1(2), 92-98. Recuperado de <https://ddd.uab.cat/record/40212>
- Alwan, A. A. (2011). Misconception of heat and temperature among physics students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 12, 600-614. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.02.074>
- Álvarez, J.L. (2002). El principio de la inercia. *Ciencias*, 67, 4-15. Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/11844>
- Aref, H., Hutzler, S. y Weaire, D. (2007). Toying with physics. *Europhysics News*, 38(3), 23-26. DOI: <https://doi.org/10.1051/EPN:2007010>
- Azizoğlu, N., y Geban, Ö. (2004). Students' Preconceptions and Misconceptions About Gases. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 73-78. Recuperado de <http://fbed.balikesir.edu.tr/index.php/dergi/article/view/288/267>
- Brown, D. (2020). Tracker (versión 5.1.5) [Software]. Open Source Physics. Recuperado de <https://physlets.org/tracker/>
- Campanario, J. M., y Otero, J. C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: Las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 18(2), 155-169. Recuperado de <https://redined.mecd.gob.es/xmlui/handle/11162/23104>

- Canedo, X. (2007). Enseñanza de la Física mediante el uso de Juguetes. *Revista Boliviana de Física*, 13(13), 166-167. Recuperado de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1562-38232007000000016&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1562-38232007000000016&script=sci_arttext)
- Chamizo, J. A. (1997). Evaluación de los aprendizajes. Tercera Parte. POE, autoevaluación, evaluación en grupo y diagramas de Venn. *Educación Química*, 8(3), 141-145. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.1997.3.66609>
- Corominas, J. (2016). *Actividades experimentales POE en la enseñanza de la química y de la física [Página Web]*. Recuperado el 14 de febrero de 2020, de <http://corominasquimica.com/2016/03/14/actividades-experimentales-poe-en-la-ensenanza-de-la-quimica-y-de-la-fisica/>
- Decreto 38/2015, de 22 de mayo, que establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Cantabria*, BOC extraordinario núm. 39 (2015).
- De Jong, O. (1998). Los experimentos que plantean problemas en las aulas de química: Dilemas y soluciones. *Enseñanza de las ciencias*, 16(2), 305-314. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21536>
- Gil Pérez, D., Navarro Faus, J. y González, E. (1994). Las prácticas de laboratorio de Física en la formación del profesorado. (II) Un análisis crítico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 7(1), 33-47. Recuperado de <https://revistas.psi.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/16189>

- Güémez, J. (2007). *Buzo de Descartes*. [Archivo PDF]. Recuperado del sitio web de la Universidad de Cantabria, Personales UNICAN: [https://personales.unican.es/lopezqm/IFE/elmenu/teoria/08IES\(Cartesian\).pdf](https://personales.unican.es/lopezqm/IFE/elmenu/teoria/08IES(Cartesian).pdf)
- Güémez, J. (2019). *Experimentos importantes de la historia: Edad Media parte 2*. [Archivo PDF]. Recuperado del sitio web de la Universidad de Cantabria, Personales UNICAN: <https://personales.unican.es/mierja/docencia/educacion/master/fps/apunt/es/jq/EXPERIMENTOS-HISTORIA-FISICA-MasterEducac-2019-02-EDAD-MEDIA-Parte-B-R.pdf>
- Güémez, J., Fiolhais, C. y Fiolhais, M. (2010). Juguetes en clase y demostraciones de Física. *Revista Iberoamericana de Física*, 6(1), 45-56. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10316/40723>
- Hernández Millán, G. y López Villa, N. M. (2011). Predecir, observar, explicar e indagar: Estrategias efectivas en el aprendizaje de las ciencias. *Educació Química: EduQ*, 9, 4-12. DOI: <https://doi.org/10.2436/20.2003.02.63>
- Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Horibe, S. (s.f.). *Robert Hooke, Hooke's Law & the Watch Spring*. [Página Web] Recuperado el 12/01/2020 de <http://shipseducation.net/modules/phys/hooke/hooke.htm>

- Ince, E., Acar, Y. y Temur, S. (2015). Physics Toys Effectiveness of Undergraduates' Understanding Physics Principles. *European Journal of Physics Education*, 6(4), 39-51. Recuperado de <http://www.europeanjournal.org/index.php/EJPE/article/view/57>
- Islas, S. M., y Pesa, M. A. (2003). ¿Qué rol asignan los profesores de física de nivel medio a los modelos científicos y a las actividades de modelado? *Enseñanza de las ciencias*, 21(Extra), 57-66. Recuperado de <https://ddd.uab.cat/record/1632>
- Joyce, C. (2006). *Predict, Observe, Explain (POE)*. [Página Web]. Recuperado el 10 de febrero de 2020 de <https://arbs.nzcer.org.nz/predict-observe-explain-poe#template>
- Kavanagh, C. y Sneider, C. (2006). Learning about Gravity I. Free Fall: A Guide for Teachers and Curriculum Developers. *Astronomy Education Review*, 5(2), 21-52. DOI: <https://doi.org/10.3847/AER2006018>
- Laín Beatove, S. (2003). Galileo y el rol de la forma en la flotación de los cuerpos. *El hombre y la máquina*, 19, 48-55. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10614/12127>
- Lozano Lucia, O. R. (2012). *La ciencia recreativa como herramienta para motivar y mejorar la adquisición de competencias argumentativas* (Tesis doctoral). Universitat de València, Valencia, España. Recuperado de <http://roderic.uv.es/handle/10550/25138>
- Marquardt, N. (1999). Introduction to the principles of vacuum physics. En *CAS - CERN Accelerator School: Vacuum Technology* (pp. 1-24). DOI: [10.5170/CERN-1999-005.1](https://doi.org/10.5170/CERN-1999-005.1)

McCullough, J. y McCullough, R. (2000) *The Role of Toys in Teaching Physics*.  
College Park, Maryland, Estados Unidos de América: American  
Association of Physics Teachers.

Melo Niño, L. V., Sánchez, R., Cañada, F. y Martínez, G. (2016). *Dificultades del Aprendizaje sobre el principio de Arquímedes en el contexto de la flotación*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38(4), 1-20. DOI:  
<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0077>

Menéndez, V. (2018). La historia de la ciencia como herramienta didáctica: La enseñanza de la gravedad. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30(Extra), 255-261. Recuperado de  
<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/22059>

Mthembu, Z. (2011). Using the Predict-Observe-Explain Technique to Enhance the Students' Understanding of Chemical Reactions (Short Report on pilot study). En *AARE Annual Conference Fremantle*. Recuperado de  
<https://www.aare.edu.au/data/publications/2001/mth01583.pdf>

Preece, P. (1984). Intuitive science: learned or triggered?. *European Journal of Science Education*, 6(1), 7-10. DOI:  
<https://doi.org/10.1080/0140528840060103>

Richoux, H. y Beaufils, D. (2003). La Planificación de las actividades de los estudiantes en los trabajos prácticos de física: Análisis de prácticas de profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 21(1), 95-106. Recuperado de  
<https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21897>

Solbes, J., Montserrat, R. y Más, C. F. (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: Implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 21, 91-117. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2475999>

Solbes, J. y Traver, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: Mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las ciencias*, 19(1), 151-162. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21726>

Sumners, C. (1994). *Toys in Space: Exploring Science with the Astronauts*. Blue Ridge Summit, Pensilvania, Estados Unidos de América: McGraw-Hill. Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=ED390652>

Varela Nieto, M. P. y Martínez Montalbán, J. L. (2005). “Jugando” a divulgar la física con juguetes. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 234-240. Recuperado de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3922>

### 16.1 Vídeos y simulaciones

BBC. (2014). *Brian Cox visits the world's biggest vacuum | Human Universe – BBC* [Archivo de vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=E43-CfukEgs>

Cibermitanios. (2014). *Martillo y pluma cayendo al mismo tiempo en la Luna* [Archivo de vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=BNEI9wop1KM>

JoseAMrod. (2013). Experimento de los "Hemisferios de Magdeburgo" [Archivo de vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=N-8UItPqXjI>

PheT Interactive Simulations. (2011). *Flotación* [Simulación] Universidad de Colorado. Recuperado de [https://phet.colorado.edu/sims/density-and-buoyancy/buoyancy\\_es.html](https://phet.colorado.edu/sims/density-and-buoyancy/buoyancy_es.html)

PheT Interactive Simulations. (2020). *Masas y Resortes* [Simulación] Universidad de Colorado. Recuperado de [https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs\\_es.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_es.html)

Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. (2013). *Caída libre*. [Simulación]. Recuperado de <http://objetos.unam.mx/fisica/caidaLibre/index.html>

Vaščák, V. (s.f. a). *Diablillo de Descartes*. [Simulación]. Recuperado de: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech\\_kartezian&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_kartezian&l=es)

Vaščák, V. (s.f. b). *Segunda Ley de Newton*. [Simulación]. Recuperado de: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech\\_newton2&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_newton2&l=es)

Vaščák, V. (s.f. c). *Tercera Ley de Newton*. [Simulación]. Recuperado de: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech\\_newton3&l=es](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_newton3&l=es)

## Anexo A: Relación de cursos, bloques y contenidos relacionados con la Física en la ESO

Tabla 1

Relación de cursos, bloques y contenidos relacionados con la Física en la ESO

Bloques	Cursos y contenidos (Asignatura “Física y Química”)		
	2º ESO	3º ESO	4º ESO
Bloque 4: El movimiento y las fuerzas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las fuerzas y sus efectos.</li> <li>Concepto de velocidad: velocidad media y velocidad instantánea.</li> <li>Concepto de aceleración.</li> <li>Máquinas simples.</li> <li>Principales fuerzas de la naturaleza: rozamiento, gravitatoria, eléctrica y magnética.</li> </ul>	No se imparte	<ul style="list-style-type: none"> <li>El movimiento.</li> <li>Movimientos rectilíneo uniforme (M.R.U.), rectilíneo uniformemente acelerado (M.R.U.A.) y circular uniforme (M.C.U.).</li> <li>Naturaleza vectorial de las fuerzas.</li> <li>Leyes de Newton.</li> <li>Fuerzas de especial interés: peso, normal, rozamiento, centrípeta.</li> <li>Ley de la gravitación universal.</li> <li>Concepto de presión.</li> <li>Principios de la hidrostática.</li> <li>Física de la atmósfera.</li> </ul>

<b>Cursos y contenidos (Asignatura “Física y Química”)</b>			
<b>Bloques</b>	<b>2º ESO (Bloque 5)</b>	<b>3º ESO (Bloque 4)</b>	<b>4º ESO(Bloque 5)</b>
Bloque 4 o 5: Energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concepto de Energía. Unidades.</li> <li>• Transformaciones energéticas: conservación de la energía.</li> <li>• Energía térmica. Calor y temperatura.</li> <li>• Fuentes de energía.</li> <li>• Uso racional de la energía.</li> <li>• Electricidad y circuitos eléctricos. Ley de Ohm.</li> <li>• Dispositivos electrónicos de uso frecuente.</li> <li>• Aspectos industriales de la energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concepto de Energía. Unidades.</li> <li>• Transformaciones energéticas: conservación de la energía.</li> <li>• Energía térmica. Calor y temperatura.</li> <li>• Fuentes de energía.</li> <li>• Uso racional de la energía.</li> <li>• Electricidad y circuitos eléctricos. Ley de Ohm.</li> <li>• Dispositivos electrónicos de uso frecuente.</li> <li>• Aspectos industriales de la energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energías cinética, potencial y mecánica.</li> <li>• Principio de conservación de la energía mecánica.</li> <li>• Principio de conservación de la energía.</li> <li>• Formas de intercambio de energía: el trabajo y el calor.</li> <li>• Trabajo y potencia.</li> <li>• Efectos del calor sobre los cuerpos.</li> <li>• Máquinas térmicas.</li> </ul>

## **Anexo B: Relación de cursos, bloques, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables de los principios físicos evaluados en la ESO**

B1 Leyes de Newton

Tabla 2

*Relación de cursos, bloques, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables de las Leyes de Newton con la Física en la ESO*

---

**4º ESO (Bloque 4: El movimiento y las fuerzas):**  
**Contenido “Leyes de Newton”**

---

<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Estándares de aprendizaje evaluables</b>
7. Usar el principio fundamental de la Dinámica en la resolución de problemas en los que intervienen varias fuerzas.	7.1 Detalla y reproduce las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en movimiento tanto en un plano horizontal como inclinado, calculando la fuerza resultante y la aceleración
8. Emplear las leyes de Newton para la interpretación de fenómenos cotidianos.	8.1. Interpreta fenómenos cotidianos en términos de las leyes de Newton.  8.2. Deduce la primera ley de Newton como consecuencia del enunciado de la segunda ley.  8.3 Representa y explica las fuerzas de acción y reacción en distintas situaciones de interacción entre objetos

---

## B2 Ley de Gravitación Universal - Gravedad

Tabla 3

Relación de cursos, bloques, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables de la Ley de Gravitación Universal – Gravedad en la ESO

<b>2º ESO (Bloque 4: El movimiento y las fuerzas):</b>	
<b>Contenido “Las fuerzas y sus efectos”</b>	
<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Estándares de aprendizaje evaluables</b>
6. Considerar la fuerza gravitatoria como la responsable del peso de los cuerpos, de los movimientos orbitales y de los distintos niveles de agrupación en el Universo, y analizar los factores de los que depende.	6.1. Relaciona cualitativamente la fuerza de gravedad que existe entre dos cuerpos con las masas de los mismos y la distancia que los separa. 6.2 Distingue entre masa y peso calculando el valor de la aceleración de la gravedad a partir de la relación entre ambas magnitudes.
<b>4º ESO (Bloque 4: El movimiento y las fuerzas)</b>	
<b>Contenido “Ley de Gravitación Universal”</b>	
9. Valorar la relevancia histórica y científica que la ley de la gravitación universal supuso para la unificación de las mecánicas terrestre y celeste, e interpretar su expresión matemática.	9.2. Obtiene la expresión de la aceleración de la gravedad a partir de la ley de la gravitación universal, relacionando las expresiones matemáticas del peso de un cuerpo y la fuerza de atracción gravitatoria.
10 Comprender que la caída libre de los cuerpos y el movimiento orbital son dos manifestaciones de la ley de la gravitación universal.	10.1 Comprende el motivo por el que las fuerzas gravitatorias producen en algunos casos movimientos de caída libre y en otros movimientos orbitales.

B3 Ley de Hooke

Tabla 4

Relación de cursos, bloques, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables de la Ley de Hooke en la ESO

---

<b>2º ESO (Bloque 4: El movimiento y las fuerzas)</b>	
<b>Contenido “Las fuerzas y sus efectos”</b>	
<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Estándares de aprendizaje evaluables</b>
1 Reconocer el papel de las fuerzas como causa de los cambios en el estado de movimiento y de las deformaciones.	1.1. En situaciones de la vida cotidiana, identifica las fuerzas que intervienen y las relaciona con sus correspondientes efectos en la deformación o alteración del estado de movimiento de un cuerpo.  1.2. Establece la relación entre el alargamiento producido en un muelle y las fuerzas que han producido esos alargamientos, describiendo el material a utilizar y el procedimiento a seguir para ello y poder comprobarlo experimentalmente.  1.3 Constituye la relación entre una fuerza y su correspondiente efecto en la deformación o la alteración en el estado de movimiento de un cuerpo.

---

---

1.4. Describe la utilidad del dinamómetro para medir la fuerza elástica y registra los resultados en tablas y representaciones gráficas, expresando el resultado experimental en unidades del Sistema Internacional.

---

#### B4 Presión atmosférica

##### Tabla 5

*Relación de cursos, bloques, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables de la presión atmosférica en la ESO*

---

#### **4º ESO (Bloque 4: El movimiento y las fuerzas)**

#### **Contenido “Concepto de presión” y “Principios de la hidrostática”**

<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Estándares de aprendizaje evaluables</b>
12. Reconocer que el efecto de una fuerza no solo depende de su intensidad sino también de la superficie sobre la que actúa	12.1 Analiza fenómenos y aplicaciones prácticas en las que se pone de manifiesto la relación entre la superficie de aplicación de una fuerza y el efecto resultante
14. Diseñar y presentar experiencias o dispositivos que ilustren el comportamiento de los fluidos y que pongan de manifiesto los conocimientos adquiridos así como la iniciativa y la imaginación.	14.2 Analiza el papel de la presión atmosférica en experiencias como el experimento de Torricelli, los hemisferios de Magdeburgo, recipientes invertidos donde no se derrama el contenido, etc. infiriendo su elevado valor.

---

B5 Flotabilidad

Tabla 6

*Relación de cursos, bloques, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables de la flotabilidad en la ESO*

---

**4º ESO (Bloque 4: El movimiento y las fuerzas)**

**Contenido “Principios de la hidrostática”**

---

<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Estándares de aprendizaje evaluables</b>
13. Interpretar fenómenos naturales y aplicaciones tecnológicas en relación con los principios de la hidrostática, y resolver problemas aplicando las expresiones matemáticas de los mismos.	13.4 Interpreta aplicaciones prácticas basadas en el principio de Pascal, como la prensa hidráulica, elevador, dirección y frenos hidráulicos, aplicando la expresión matemática de este principio a la resolución de problemas en contextos prácticos.  13.5 Predice la mayor o menor flotabilidad de objetos utilizando la expresión matemática del principio de Arquímedes.

---

## **Anexo C: Validación y desarrollo de las prácticas**

En el presente anexo vamos a desarrollar los guiones originales para valorar la dificultad en el montaje y en la ejecución del experimento, la fiabilidad de los datos obtenidos, la validez de las hipótesis planteadas y recopilar los materiales necesarios para desarrollarlos en casa. Tras el desarrollo de estos, se realizaron pequeñas modificaciones, recomendaciones y se comprobó que es posible reproducirlos en casa usando juguetes, objetos cotidianos, un móvil y software libre.

### **C1 Primera Ley de Newton**

#### **C1.1 Inercia del reposo**

##### Materiales necesarios:

- Monedas de 50 céntimos de euro.
- Cartulina.
- Vaso.

Desarrollo de la práctica: Preparamos y desarrollamos los dos experimentos siguientes:

- *Torre de monedas:* Colocamos al menos 3 monedas formando una torre. Lanzamos hacia la base de esta una moneda a gran velocidad, que al impactar desplazará la moneda de la base, quedando las monedas restantes en la posición inicial.
- *Cartulina y moneda:* Colocamos encima de un vaso una cartulina con una moneda. Tiramos enérgicamente de la cartulina, cayendo la moneda en el fondo del vaso sin apenas variar su posición.

Conclusiones y recomendaciones: Los experimentos se llevaron a cabo de manera satisfactoria. Estos experimentos han de realizarse de forma rápida y vigorosa para conseguir reproducirlos correctamente.

## C1.2 Inercia de movimiento

### C.1.2.1 *Minimizando el rozamiento*

#### Materiales necesarios:

- Rampas de cartón.
- Bola.

Desarrollo de la práctica: Preparamos una rampa fija y otra que puede modificar su inclinación con cartón. Manteniendo la altura de la que se deja caer la bola por la rampa fija, reducimos la inclinación de la rampa móvil, observando que la distancia horizontal recorrida es cada vez mayor. Si quitamos la rampa móvil, la bola se moverá hasta chocar con la pared.

Conclusiones y recomendaciones: El experimento se llevó a cabo de manera satisfactoria. Proponemos las siguientes recomendaciones:

- La bola ha de tener una masa apreciable para observar el principio de forma más clara.
- Debemos dejar caer la bola centrada, y que siga una trayectoria recta.

### C1.2.1.2 *Con rozamiento*

Materiales necesarios: Semilla de diente de león o algodón medicinal.

Desarrollo de la practica: Dejamos caer la semilla de diente de león, y prácticamente al instante, alcanza la velocidad límite en la que la fuerza gravitatoria se iguala a la fuerza del rozamiento del aire. La fuerza resultante aplicada al cuerpo es nula, y aplicando la Segunda Ley de Newton su aceleración también será nula. Por lo tanto, una vez alcanzada la velocidad límite, el cuerpo mantendrá su velocidad describiendo un MRU.

Conclusiones y recomendaciones: El experimento se llevó a cabo de manera satisfactoria. En caso de no disponer de una semilla de diente de león, podemos utilizar algodón medicinal.

## C2 Segunda Ley de Newton

### C2.1 Objeto móvil y contrapeso

#### Materiales necesarios:

- Camión de juguete.
- Cuerda.
- Vaso de plástico.
- Estantería.
- Báscula de precisión.
- Monedas que harán de contrapeso.
- Cronómetro digital.



Figura 15 – Sistema camión - vaso

Desarrollo de la práctica: Para replicar la práctica del objeto móvil y contrapeso, se utilizó un sistema por un camión de juguete sobre una librería, unido a un vaso de plástico mediante una cuerda como se muestra en la Figura 15. Los parámetros bajo los cuales se ha desarrollado el experimento son los siguientes:

- Masas iniciales del camión  $m_c = 0,185$  kg y del vaso  $m_v = 0,032$  kg.
- Distancia horizontal recorrida por el camión: 1,22 m.

Una vez preparado el experimento, se ha medido el tiempo que tarda el camión en recorrer la distancia anterior, para posteriormente variar la masa del camión  $m_c$  y del vaso  $m_v$  proporcionalmente según se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

*Relación entre las masas del camión y del vaso en cada caso*

<b>Caso</b>	<b>Masas (<math>m_c</math> y <math>m_v</math>)</b>	<b>Relación <math>m_c/m_v</math></b>	<b>Masa <math>m_c</math> (kg)</b>	<b>Masa <math>m_v</math> (kg)</b>
1	$m_c$ y $m_v$	5,78	0,185	0,032
2	$2m_c$ y $2m_v$	5,78	0,370	0,064
3	$m_c$ y $m_v/2$	11,56	0,185	0,016
4	$2m_c$ y $m_v$	11,56	0,370	0,032

Una vez definidas las masas a utilizar en cada caso, se procedió a cronometrar el tiempo que tarda el camión en recorrer la distancia. Para calcular las

aceleraciones reales y teóricas, y los tiempos teóricos en cada caso, utilizaremos las ecuaciones y planteamientos desarrolladas en el apartado 8.1.4.1 *Objeto móvil y contrapeso* del documento principal. A modo de ejemplo, calculamos los valores para el caso 1, mostrando todos los datos obtenidos en la Tabla 8:

Valores reales Caso 1:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow x = \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow a_{r1} = \frac{2x}{t_{r1}^2} = \frac{2 * 1,22 \text{ m}}{(1,75 \text{ s})^2} = 0,8 \text{ m/s}^2$$

Valores teóricos Caso 1:

$$a_{t1} = \frac{m_v g}{m_v + m_c} = \frac{0,032 \text{ kg} * 10 \text{ m/s}^2}{0,032 \text{ kg} + 0,185 \text{ kg}} = 1,47 \text{ m/s}^2$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow x = \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow t_{t1} = \sqrt{\frac{2x}{a_{t1}}} = \sqrt{\frac{2 * 1,22 \text{ m}}{1,47 \text{ m/s}^2}} = 1,30 \text{ s}$$

Tabla 8

*Valores experimentales de la Segunda Ley de Newton*

<b>Caso</b>	<b>Relación <math>m_c/m_v</math></b>	<b>Aceleración teórica <math>a_t</math> (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b><math>t</math> teórico (s)</b>	<b>Aceleración real <math>a_r</math> (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b><math>t</math> real (s)</b>
1	5,78	1,47	1,29	0,80	1,75
2	5,78	1,47	1,29	0,82	1,72
3	11,56	0,80	1,75	0,23	3,23
4	11,56	0,80	1,75	0,25	3,13

Conclusiones y recomendaciones: El experimento se llevó a cabo de manera satisfactoria Comparando los valores de reales con los teóricos obtenemos las siguientes conclusiones:

- El valor de la aceleración real es inferior al de la aceleración teórica. Esto es debido a que el rozamiento que no se ha tenido en cuenta en los cálculos teóricos, a errores en la medición y ejecución del experimento.

- Cuando la relación de masas es igual como en los casos 1 y 2, el tiempo empleado en recorrer la distancia horizontal, y por tanto la aceleración, son similares. Lo mismo sucede en los casos 3 y 4.
- En los casos 1 y 2 la aceleración es mayor que en los casos 3 y 4. Esto es debido a que la relación entre las masas  $m_c$  y  $m_v$ , y por lo tanto la relación entre la fuerza resistente y la fuerza que produce el movimiento es menor en los casos 1 y 2 que en los casos 3 y 4.

Proponemos las siguientes recomendaciones:

- La longitud de la superficie horizontal por la que circula el objeto móvil deberá ser como mínimo de 1 m, y por lo tanto, necesitaremos una altura mínima de 1,2 m debido a que el contrapeso se mueve verticalmente la misma distancia que recorre horizontalmente el camión. Con distancias inferiores es muy difícil medir el tiempo con precisión debido a la rapidez con la que tiene lugar el proceso
- Es necesario repetir cada movimiento varias veces por los errores y diferencias en la medición del tiempo.

## C2.2 Caída libre

Repetir el procedimiento seguido en el apartado *C4 Ley de Gravitación universal – Caída de graves* del presente anexo utilizado para calcular el valor de la aceleración de la gravedad. En este caso, discutiremos con los alumnos que el cuerpo sometido a una fuerza constante (Campo Gravitatorio Terrestre) está sometido a una aceleración continua ( $g$ ), comprobando de otra forma la Segunda Ley de Newton.

## C3 Tercera Ley de Newton

### C3.1 Coche-Globo

#### Materiales:

- Coche o camión de juguete
- Globo.
- Pajita.
- Cinta adhesiva.



*Figura 16 – Sistema camión-globo*

Desarrollo de la práctica: Para replicar la práctica, utilizamos un camión de juguete al que se le añadió un globo mediante una pajita utilizando cinta adhesiva, como se muestra en la Figura 16. Hinchamos el globo y el coche comenzó su movimiento al liberar el aire del interior de este.

Conclusiones y recomendaciones: Inicialmente el camión no iniciaba el movimiento al dejar escapar el aire a través de la pajita. Tras cambiar el globo inicial por una más grueso, el experimento funcionó correctamente. Otra posibilidad es cambiar el camión por un vehículo más ligero y con menor rozamiento.

### C3.2 Dinamómetros

Para replicar el experimento de los dinamómetros, podemos utilizar un muelle con constante elástica  $k$  del que colgamos una masa conocida. De esta manera, es posible obtener el peso y la fuerza elástica que ejerce el muelle aplicando la Ley de Hooke (ver apartado C5 *Ley de Hooke* del presente anexo) para comprobar que son iguales en módulo y dirección, pero sentido contrario al mantenerse en equilibrio estático. Al variar la fuerza aplicada (masa), el muelle alcanzará un nuevo punto de equilibrio, comprobando que la fuerza elástica modifica su valor para contrarrestar a la nueva fuerza aplicada.

## C4 Ley de Gravitación universal – Caída de graves

### Materiales necesarios:

- Esterilla de gimnasia, cartón o superficie blanda que amortigüe el impacto.
- Bolígrafo, folios, libros y semillas.
- Bola roja.
- Cámara de vídeo.
- Programa Tracker (Brown, 2020)

Desarrollo de la práctica: Para replicar la práctica, se dejaron caer los diferentes objetos siguiendo el desarrollo histórico definido en el apartado 10.1.2 *Contexto histórico* del documento principal:

- *Fase inicial:* bolígrafo o folio / libro o folio. El bolígrafo y el libro caen mucho más rápido que el folio.

- *Revolución científica*: Evidenciar el efecto del aire.
  - folio arrugado o folio: El folio arrugado cae más rápido que el folio.
  - libro o folio para después unir el folio y el libro: El libro cae más rápido que el folio, pero al unirlos, caen a la vez.
- *Teoría de Newton*: describir la caída libre de una semilla.

Tras desarrollar los experimentos anteriores, se procedió a calcular el valor de la aceleración de la gravedad. Para ello, se deja caer libremente una bola de plástico roja desde una altura de 1,7 m, grabando con un móvil su caída libre. Posteriormente, analizamos el vídeo obtenido con el Programa Tracker (Brown, 2020), como se muestra en la Figura 17.

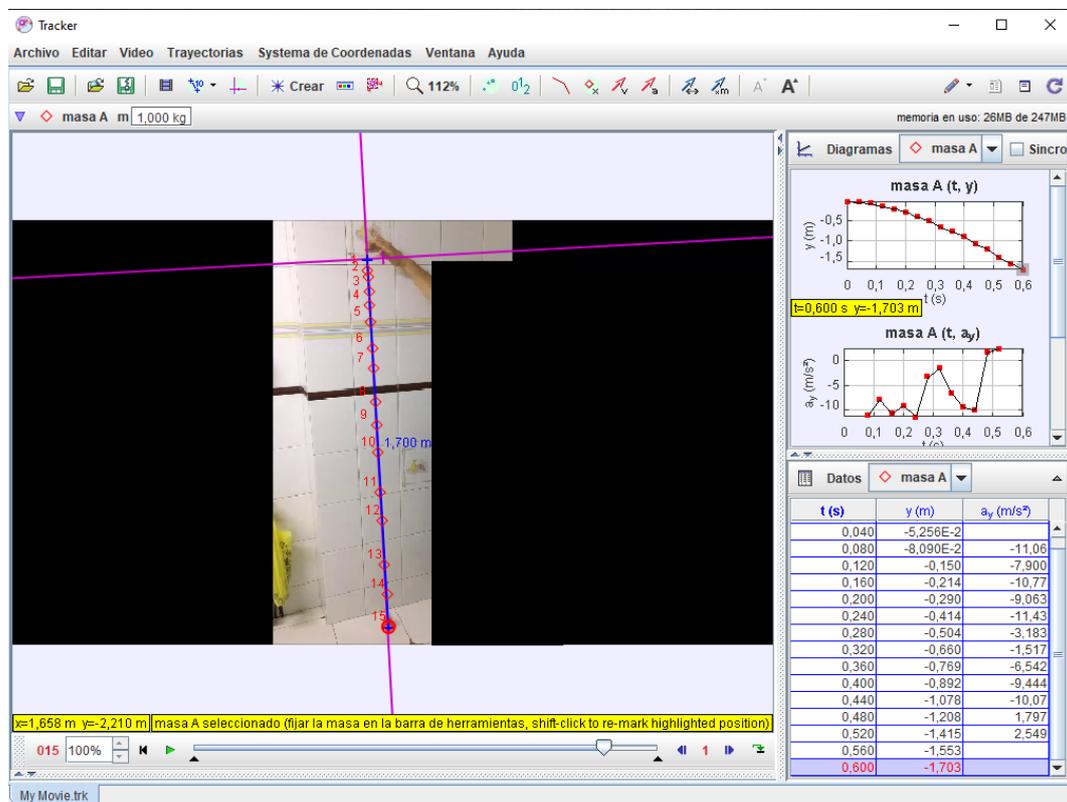


Figura 17 – Análisis de los datos de caída libre con Tracker (Brown, 2020)

Como podemos observar, el programa calcula correctamente la trayectoria vertical (eje Y) pero no la aceleración en dicho eje. Esto se debe a la rapidez con la que sucede el suceso ( $t=0,6$  segundos) y a la dificultad de definir y marcar correctamente los puntos de la trayectoria. Pequeñas variaciones en la selección de los puntos marcan una gran diferencia en los datos a analizar.

Para calcular la aceleración, debemos de tener en cuenta que la pelota se mueve en un MRUA al estar sometido a la aceleración constante  $a$ . Considerando que la bola parte del origen ( $y_0=0$ ) y en reposo ( $v_0=0$ ), obtenemos la aceleración en caída libre Si consideramos toda la trayectoria ( $y=1,7$  m) y el tiempo que tarda ( $t=0,6$  s) en completarla, la aceleración es:

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow y = \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow a = \frac{2 * y}{t^2} = \frac{2 * 1,7 \text{ m}}{(0,6\text{s})^2} = 9,44 \text{ m/s}^2$$

El cual se aproxima bastante al valor real de la gravedad  $g=9,81 \text{ m/s}^2$ .

Conclusiones y recomendaciones: La práctica y los experimentos se llevaron a cabo de forma satisfactoria. El valor obtenido de la gravedad es similar al valor real, habiendo pequeñas diferencias. Proponemos las siguientes recomendaciones:

- Para aumentar la distancia de caída libre, y que la diferencia de caída entre los objetos sea más apreciable, recomendamos subirse a una silla.
- Para que el programa Tracker (Brown, 2020) identifique correctamente el objeto en caída libre, el mismo ha de ser de un color que destaque con el color de la pared del fondo. Recomendamos además centrar la cámara y soltar el objeto cerca de una pared para facilitar posteriormente el análisis de los datos.

## C5 Ley de Hooke

### Materiales necesarios:

- Muelle de plástico.
- Metro.
- Cinta adhesiva.
- Tarjeta de crédito o superficie de plástico dura.
- Diferentes masas conocidas.
- Báscula de precisión.



Figura 18 – Montaje casero de la Ley de Hooke

Desarrollo de la práctica: Para replicar la práctica, colgamos el muelle del borde de una mesa con la ayuda de la tarjeta de crédito, fijando el mismo con cinta adhesiva, tal y como se muestra en la Figura 18. Los parámetros del experimento son los siguientes:

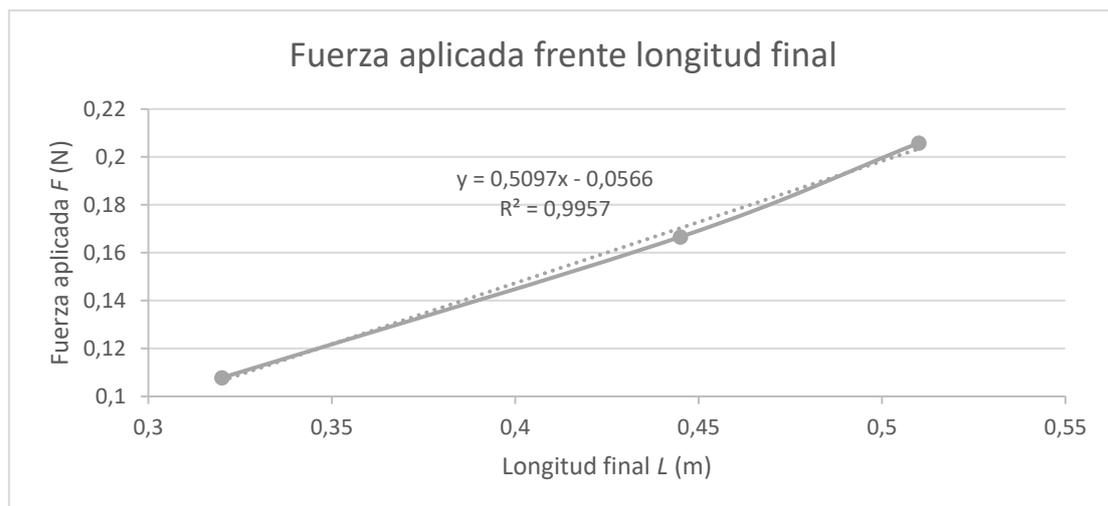
- Muelle de plástico, cuya longitud inicial en reposo es  $L_0 = 0,086$  m.
- Masas de 11, 17 y 21 g para elaborar la gráfica fuerza  $F$  (peso) frente a longitud final ( $L$ ).

Los resultados obtenidos al medir la longitud final alcanzada por el muelle al colgar cada masa se muestran en la Tabla 9 y en la *Figura 19*.

Tabla 9

*Datos experimentales de la Ley de Hooke*

Masa (g)	Peso (N)	Longitud final ( $L$ ) (m)	Alargamiento ( $\Delta L$ ) (m)
11,000	0,110	0,320	0,233
17,000	0,170	0,440	0,358
21,000	0,210	0,510	0,423



*Figura 19 – Fuerza frente a desplazamiento del muelle*

De la gráfica anterior obtenemos el valor de la constante elástica del muelle  $k$ , que coincide con el valor de la pendiente de esta, cuyo valor es  $k=0,51$  N/m, con un  $R^2$  0,9957.

Para comprobar la validez del valor de  $k$  obtenido experimentalmente, procedemos a calcular analíticamente (ver apartado 11.1.3 *Principio físico a demostrar* del documento principal) la longitud del muelle al aplicarle una masa de 14 g, que experimentalmente medida es  $L_e=0,356$  m:

$$F = k\Delta L \rightarrow 0,14 \text{ N} = 0,51 \frac{\text{N}}{\text{m}} \Delta L \rightarrow \Delta L = 0,274 \text{ m}$$

$$\Delta L = L - L_0 \rightarrow 0,274 \text{ m} = L - 0,086 \rightarrow L = 0,360 \text{ m}$$

Conclusiones y recomendaciones: Tras realizar el experimento de nuevo con la masa de 14 g, obtenemos una longitud final del muelle  $L_e=0,356$  m, valor prácticamente idéntico al valor calculado teóricamente  $L_a=0,360$  m, con lo que podemos afirmar que el experimento se ha realizado de forma adecuada y los resultados obtenidos son precisos. Para realizar las medidas de forma exacta, debemos esperar a que el muelle se estabilice por completo y disponer de un dispositivo de medida lo más preciso posible.

## C6 Presión atmosférica – Hemisferios de Magdeburgo

### Materiales necesarios:

- Superficie no porosa (cristal, azulejo)
- Superficie porosa (madera, papel, cartón)
- Ventosas

Desarrollo de la práctica: Probamos el funcionamiento de la ventosa en superficies porosas y no porosas. Para reproducir el experimento de los Hemisferios de Magdeburgo, recomendamos utilizar una superficie intermedia no porosa, pegando una ventosa en cada cara de esta, debido a que en ocasiones es complicado lograr el vacío entre dos ventosas.

Conclusiones y recomendaciones: El experimento se llevó a cabo de manera satisfactoria. Las superficies y las ventosas han de estar limpias y libres de grasa para evitar problemas de adherencia.

## C7 Flotabilidad – Buzo de Descartes

### Materiales necesarios:

- Botella de plástico con tapón llena de agua.
- Pajita de plástico.
- Mechero.
- Clips.
- Pinzas de metal o dos monedas.



Figura 20 – Buzo casero

Desarrollo de la práctica: Para replicar la práctica, construimos un buzo como el mostrado en la Figura 20, siguiendo los siguientes pasos:

1. Construimos el buzo (podemos utilizar un gotero o un tubo de cristal invertido)
  - a) Cortamos la pajita hasta dejarla de una longitud aproximada de 8 cm.
  - b) Con la ayuda de la pinza o de las dos monedas, presionamos el extremo de la pajita de tal forma que las caras de esta se toquen.
  - c) Calentamos con el mechero el extremo de la pajita hasta que se funda. Esperamos unos segundos y nos aseguramos de que sea hermética.
  - d) Introducimos por el extremo abierto clips para aumentar la masa.
  - e) Probamos el buzo en agua tras llenar la mitad del mismo con agua para comprobar si la masa es suficiente como para que se hunda ligeramente. Si se hunde hasta el fondo, quitamos masa.
2. Llenamos la botella de agua e introducimos el buzo, cerrando fuertemente el tapón para evitar fugas de agua y pérdida de presión.
3. Ejercemos presión con la mano. En función de la presión ejercida, el buzo ascenderá o descenderá. Si mantenemos la presión cuando el buzo se encuentra en una posición intermedia, se mantendrá en dicha posición.

Conclusiones y recomendaciones: El experimento se llevó a cabo de manera satisfactoria. La botella ha de estar lo más llena posible, de esta manera efectuaremos de forma más eficaz y con menor deformación de la botella la presión necesaria.