

n.º 10

Serie

El CSIC en la Escuela

Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

n.º 10

Serie

El CSIC en la Escuela

Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula



SERIE EL CSIC EN LA ESCUELA, N.º 10

DIRECCIÓN:

Director: José M.ª López Sancho (CSIC)
Vicedirectora: M.ª José Gómez Díaz (CSIC)
Directora Adjunta: M.ª del Carmen Refolio Refolio (CSIC)

EDITOR:

Esteban Moreno Gómez (CSIC)

COMITÉ DE REDACCIÓN:

Coordinadora: M.ª José Gómez Díaz (CSIC)
Salomé Cejudo Rodríguez (CSIC)
Alfredo Martínez Sanz (colaborador de El CSIC en la Escuela)

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR:

Presidente: Martín Martínez Ripoll (CSIC)
Gerardo Delgado Barrio (CSIC)
Enrique Gutiérrez-Puebla (CSIC)
Jaime Julve Pérez (CSIC)
M.ª Ángeles Monge Bravo (CSIC)
Pilar López Sancho (CSIC)
Almudena Orejas Saco del Valle (CSIC)
María Ruiz del Árbol (CSIC)
Javier Sánchez Palencia (CSIC)
Inés Sastre Prats (CSIC)
Pilar Tígeras Sánchez (CSIC)

n.º 10

Serie

El CSIC en la Escuela

Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
MADRID, 2014

Reservados todos los derechos por la legislación en materia de Propiedad Intelectual. Ni la totalidad ni parte de este libro, incluido el diseño de la cubierta, puede reproducirse, almacenarse o transmitirse en manera alguna por medio ya sea electrónico, químico, óptico, informático, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo por escrito de la editorial.

Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, solo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

Catálogo general de publicaciones oficiales:

<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

EDITORIAL CSIC: <http://editorial.csic.es> (correo: publ@csic.es)

Para publicar en *Serie El CSIC en la Escuela*:

<http://www.csicenlaescuela.csic.es/publicaciones.htm>



Fundación **BBVA**

© CSIC

e-ISBN (obra completa): 978-84-00-09299-3

e-ISBN (n.º 10): 978-84-00-09785-1

e-NIPO: 723-14-012-1

Diseño y maquetación: Alejandro Martínez de Andrés

Ilustraciones: Luis Martínez Sánchez y Alejandro Martínez de Andrés

The logo for the index, featuring a square icon with a vertical line on the left and the word 'ÍNDICE' in a bold, sans-serif font to its right.

Análisis termodinámico de un diseño conceptual de máquina de vapor debida a Papin <i>E. Moreno, M.ª J. Gómez, M.ª C. Refolio y J. M.ª López</i>	7
Construcción y estudio de una máquina de vapor sin partes móviles <i>E. Moreno, M.ª J. Gómez, M.ª C. Refolio y J. M.ª López</i>	31
Geología para sordociegos: una experiencia multisensorial para la divulgación de la ciencia <i>M. Gomez-Heras, L. Gonzalo, A. García-Frank, G. N. Sarmiento, L. González, M.ª B. Muñoz, R. García, D. Hontecillas, M.ª S. Ureta y M.ª L. Canales</i>	45
Divulgación de la Geología: nuevas estrategias educativas para alumnos con necesidades educativas especiales por discapacidad intelectual <i>A. García-Frank, R. Pérez, B. Espín, P. Benito, L. de Pablo, M. Gómez-Heras, G. N. Sarmiento, M.ª L. Canales, L. González, M.ª B. Muñoz-García, R. García-Hernández, D. Hontecillas, M.ª S. Ureta y B. del Moral</i>	56

Análisis termodinámico de un diseño conceptual de máquina de vapor debida a Papin

Esteban Moreno Gómez *, M.^a José Gómez Díaz

VACC-CSIC. El CSIC en la Escuela

M.^a Carmen Refolio Refolio y
José M.^a López Sancho

IFF-CSIC. El CSIC en la Escuela



Palabras clave

Máquina de vapor, diseño conceptual, Papin, Galileo, gas, vacío, calor, temperatura, termoscopio, Carnot, Guericke, Huygens, termodinámica, educación, constructivismo.

Resumen

Los diseños conceptuales describen máquinas que no están destinadas a la producción, pero que presentan todos los elementos necesarios y básicos de funcionamiento. Este es el caso de la máquina de vapor de Papin, de 1690, que producía trabajo utilizando el efecto de la presión atmosférica sobre el émbolo de un cilindro en cuyo interior se había producido un vacío parcial. Este tipo de máquinas, llamadas atmosféricas, fue utilizado hasta que Watt introdujo las de doble efecto, en 1781, casi 100 años después del prototipo de Papin.

En este trabajo describimos con cierto detalle la máquina de Papin, siguiendo el camino histórico y los desarrollos conceptuales de la termodinámica que llevaron a su desarrollo y comprensión. Estos conceptos se aplicarán, en otro artículo, al estudio y construcción de una máquina de vapor sin partes móviles, un *caso concreto* de máquina fácil de construir en el aula en la que se materializan conceptos y procesos que introducimos en este artículo.

Introducción

El descubrimiento y la utilización de la *potencia motriz del fuego* constituyen uno de los episodios de creatividad científica más interesantes y de mayor importancia en la historia de la ciencia y, sin lugar a dudas, uno de los más importantes en el desarrollo de la sociedad. Es difícil imaginarse pasos tan importantes como la abolición de la

.....
* E-mail del autor: esteban@orgc.csic.es.

esclavitud o la revolución industrial sin la existencia de la máquina de vapor. Los trenes sustituyeron a las diligencias, los barcos de vapor a los de vela y las fábricas sustituyeron los saltos de agua de los ríos por máquinas de vapor.

Hasta el desarrollo de la máquina de vapor las ciudades industriales debían situarse necesariamente en las orillas de los ríos, en parajes que permitiesen construir presas. Con el desarrollo de las máquinas de vapor las fábricas se liberaron de esa dependencia y se pudieron situar cerca de las minas de carbón o de las fuentes de materias primas. Podemos decir que cambió el paisaje de las naciones industriales.

Son numerosos los cambios sociales debidos a la aplicación del conocimiento. En general se describen como *revoluciones*, entre las cuales podemos citar la neolítica, la de los metales, la comercial, la científica, la industrial, la tecnológica, la informática, etc. En todas ellas se pueden identificar los tres procesos: I+D+i (investigación, desarrollo e innovación), como elementos esenciales de las mismas. Aunque en algunos casos no se encuentren claramente diferenciados, en la medida de lo posible intentaremos utilizar esta división para organizar nuestro trabajo.

Desde que los seres humanos comenzaron a estudiar el fuego y sus propiedades se establecieron evidentes relaciones entre la luz y el calor de, por ejemplo, una madera ardiendo. Era natural pensar que tanto la luz como el calor eran sustancias que se encontraban dentro de los combustibles, los cuales los desprendían durante la combustión. Aunque aplicaron rápidamente estas propiedades para iluminarse y cocinar los alimentos, estaban lejos de prever las posibilidades de aquella llama, entre las que se ocultaba lo que Carnot llamó, centenas de miles de años después, la potencia motriz del fuego. Esta es la historia que nos proponemos describir, continuando con nuestro trabajo anterior y, en esta ocasión, deteniéndonos con más detalle en los conceptos científicos y en su marco histórico.

Identificación de los conceptos que intervienen en este trabajo

Si analizamos los conceptos mínimos que se necesita manejar para entender una máquina de vapor, llegamos al conjunto siguiente:

presión y vacío, calor y temperatura, cambios de estado, calor específico y calor latente, presión atmosférica.

La siguiente tarea es organizar estos conceptos de acuerdo con un de mapa de Novak y exponerlos en la forma que consideremos más conveniente. Como es nuestra práctica habitual, en nuestra exposición, vamos a utilizar la secuencia histórica, introduciendo los personajes que realizaron los descubrimientos y definieron los conceptos y magnitudes que intervienen en nuestra historia.

Galileo y el termoscopio

El primer personaje que aparece es Galileo Galilei (1564-1642) y lo hace en dos ocasiones, cuando mide la *presión atmosférica* y cuando define el concepto de *temperatura* (que no la magnitud).

Galileo es un científico moderno, iniciador de la revolución científica, y no admite otra forma de conocimiento que el de «preguntar» a la naturaleza por medio de experimentos. Quiere conocer exactamente el valor de la fuerza generada por el horror al vacío y diseña un experimento para determinarlo pero que, para entenderlo, requiere haber adquirido el concepto de *presión* y las peculiaridades necesarias para su aplicación al caso de los gases.

Podemos introducir el concepto de *presión* en el aula por medio de consideraciones sobre la diferente superficie de las patas de los animales, en relación con la dureza del suelo por el que se desplazan. Aquellos que viven en hábitats con suelo resistente tienen suelas plantares de pequeña superficie, pero los que se mueven en suelo blando o de poca consistencia, como la nieve, las tienen de gran superficie. Esto nos indica que la resistencia del suelo está relacionada con la superficie de las patas; de manera que a mayor resistencia le corresponde menor superficie.



Imagen 1. Los osos polares tienen suelas plantares de gran superficie.

Es evidente que cuanto mayor sea la superficie en la que se soporta el peso, menos se hundirá en la nieve (**Imagen 1**). Es fácil ver que la magnitud relevante en este caso es la relación entre el peso y la superficie:

$$\text{magnitud relevante} = \frac{\text{peso}}{\text{superficie}}$$

A esa magnitud la llamamos *presión*, que se define como la fuerza ejercida por unidad de superficie:

$$\text{presión} = \frac{\text{peso}}{\text{superficie}}$$

Una vez definida la presión, podemos caracterizar un suelo por la presión que es capaz de soportar. Esa misma presión es la que pueden ejercer los animales que se desplazan por ese suelo.

Aplicación del concepto de presión al caso de los gases

Supongamos que disponemos de un depósito cilíndrico con un émbolo que lo cierra. Para conocer la presión que ejerce el gas de su interior debemos ejercer sobre este una fuerza determinada, como puede ser el peso de un cuerpo de masa conocida.

Una vez conceptualizada la presión, el paso siguiente es aplicar esa magnitud al estudio de otros fenómenos. La operación mental de utilizar un concepto en una clase de fenómenos diferente a la de su desarrollo inicial no es fácil y requiere un grado de abstracción considerable. Por ello, tendremos que ayudar a nuestros alumnos a identificar los elementos constitutivos de la presión, *la fuerza aplicada y la superficie sobre la que se reparte*. En el caso que nos ocupa aplicaremos el concepto de presión que hemos elaborado anteriormente (en un escenario de nieve) al estudio de la presión ejercida por un gas confinado en un depósito.

Aunque no es indispensable recurrir al modelo atómico-molecular, si los alumnos lo conocen debemos explicar el origen de la presión ejercida por un gas, es decir, la transferencia de *cantidad de movimiento* por unidad de tiempo. Pero en caso de que los alumnos no conozcan el modelo atómico-molecular podemos tratar el gas como cualquier material elástico, que al comprimirlo responde con una fuerza que se opone a la compresión.

En el caso que nos ocupa utilizaremos el ejemplo de un gas al que sometemos a una presión determinada colocando un peso sobre un émbolo de superficie conocida (**Imagen 2**); el émbolo comprimirá el gas hasta que la presión ejercida por este sea igual a la que resulta del peso que hemos colocado dividido por la superficie del émbolo.

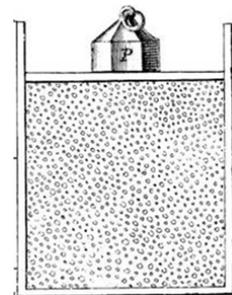


Imagen 2. Émbolo con una pesa ejerciendo presión sobre un gas confinado. Ilustración de Daniel Bernoulli, *Hydrodynamica* (1738).

A pesar de que Galileo no llegó al concepto de presión atmosférica como consecuencia del peso del aire (cuyo descubrimiento y medida se debió a su discípulo Torricelli, en 1643), fue el primero en determinarla.

Galileo creía en el *horror vacuum* y para medir el límite de su valor ideó el siguiente experimento. Construyó una especie de jeringuilla de grandes dimensiones y la colocó invertida, vació el aire que contenía llevando el émbolo hasta el punto superior, la cerró y aplicó una fuerza vertical hacia abajo que fue aumentando hasta que venció la fuerza, que él creía debida al horror al vacío y que se oponía a que el émbolo se desplazase hacia abajo (**Imagen 3**).

El experimento es difícil de realizar en clase, por lo que proponemos otro semejante mucho más fácil de llevar a cabo. Consiste en repetir el proceso de Galileo utilizando una jeringuilla real, de plástico: vaciarla de aire con el émbolo, tapar la boquilla con un dedo, colocarla en posición invertida y aplicar una fuerza variable (el peso del líquido que vertemos en la botella) que obligue al émbolo a desplazarse hacia abajo (**Imagen 4**).

Todo lo que tenemos que hacer, como Galileo explica, es determinar el valor de la fuerza aplicada en el momento de comenzar el movimiento y dividir esa fuerza por el valor de la superficie del émbolo. Nuestro resultado (tanto más exacto cuanto más corto sea el tubito que tiene la jeringuilla para encajar la aguja y que debemos cortar) será de unos 10 N (el peso de un kilogramo masa) por cada centímetro cuadrado de superficie del émbolo, valor que podemos comprobar utilizando diversas jeringuillas de tamaños diferentes.

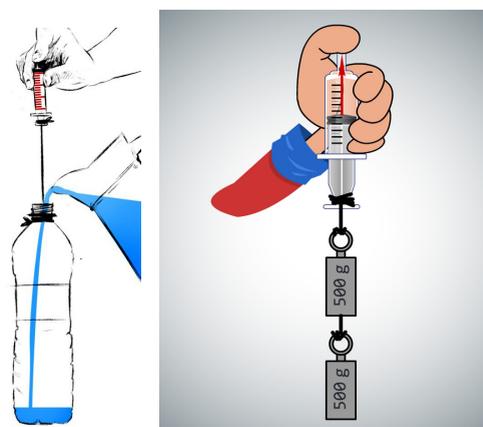


Imagen 4. Propuesta de experimento para el aula: utilizando agua como unidad de masa y con pesas de distinta masa.

Por este procedimiento Galileo llegó a la conclusión de que el valor de la *fuerza que producía el horror al vacío* era de unos 10 N por centímetro cuadrado. Consecuentemente, si se ejercía una fuerza superior el émbolo se movería y se produciría vacío en el espacio cilíndrico. El vacío podía existir.

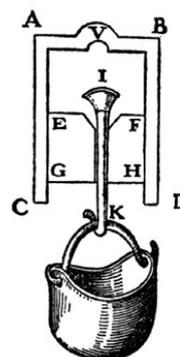


Imagen 3. Ilustración de Galileo mostrando su experimento. «Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze» (1638).

No podemos dejar de explicar lo que en realidad ocurrió en el experimento de Galileo. El interior de la jeringa estaba vacío, pero el exterior estaba sometido a la presión atmosférica. Esta ejercía una fuerza hacia adentro sobre el émbolo igual al valor de la presión atmosférica, que fue en realidad lo que midió Galileo.

Las esferas de Magdeburgo

El experimento más espectacular de los efectos de la presión atmosférica lo realizó Otto de Guericke, que nació en 1602, en Magdeburgo. Su principal contribución tecnológica fue la bomba de aire con la que fue capaz de crear el suficiente vacío en ciertos recipientes como para realizar distintos experimentos. También son importantes sus aportaciones prácticas en electricidad.

Fue en 1656 cuando llevó a cabo una representación pública en la ciudad de Magdeburgo que consistió en evacuar el aire del interior de dos semiesferas unidas y posteriormente enganchar un tiro de ocho caballos a cada una de las semiesferas (**Imagen 5**).

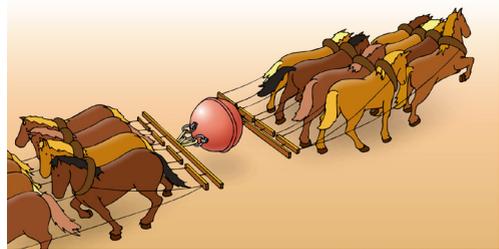


Imagen 5. Ilustración del experimento con los hemisferios de Magdeburgo.

Si, por ejemplo, las semiesferas tenían un metro de diámetro, la superficie del plano central era de:

$$\text{superficie} = \pi \cdot r^2 = 7850 \text{ cm}^2$$

Empleando ahora nuestra fórmula de la presión, obtenemos:

$$\text{fuerza} = \text{presión} \cdot \text{superficie} = \frac{10 \text{ N}}{\text{cm}^2} \cdot 7850 \text{ cm}^2 = 78500 \text{ N}$$

Como había 8 caballos para cada semiesfera, cada uno debía realizar una fuerza equivalente a:

$$\frac{78500 \text{ N}}{8} = 9812 \text{ N}$$

Valor muy por encima de sus posibilidades: la fuerza horizontal que puede realizar un caballo es aproximadamente de un quince por ciento de su peso, es decir, unos 800 N por cabeza. El lector habrá adivinado la razón por la que hemos dividido la fuerza total por ocho, a pesar de que el número total de caballos era de 16.

La medida de la presión atmosférica: Berti y Torricelli

Las nuevas ideas de Galileo aceptando la existencia del vacío, llegaron a Roma en 1638, coincidiendo con la publicación de su obra conocida popularmente como *Discorsi in torno a due nuove scienze*. Como resultado otro físico italiano, Gasparo Berti, tuvo conocimiento de estas nuevas ideas e invirtió el razonamiento de Galileo.

La intención de Berti era construir un sifón demasiado elevado y de esta forma obtener vacío, que era en lo que realmente estaba interesado. Junto con Rafael Magiotti construyó un gran tubo de vidrio de once metros rematado en la parte superior por depósito de unos diez litros anclándolo verticalmente en la fachada del convento de Mínimos, en la ciudad italiana de Picio.

Llenaron completamente de agua el tubo y el depósito aprovechando una válvula localizada en la parte superior y un tapón en la boca inferior.

Después introdujeron el extremo inferior en un gran recipiente que contenía agua, de manera que dicho extremo estuviera sumergido, y quitaron el tapón de forma que el agua saliese del tubo produciendo vacío en el depósito superior: objetivo del experimento (**Imagen 6**). Conforme a los cálculos de Galileo, el tubo quedó lleno de agua hasta una altura algo menor de diez metros dejando completamente vacío de agua el depósito superior.

Para Berti el depósito de diez litros estaba absolutamente vacío.

Cuando Galileo era ya un anciano conoció a un joven científico, Evangelista Torricelli, al que admitió como alumno. Torricelli actuaría, además, como amanuense en la escritura de los trabajos del maestro. Probablemente comunicó a su discípulo sus dudas sobre el verdadero origen del horror al vacío. Galileo murió a los pocos meses. Pero Torricelli no estaba de acuerdo con la teoría aristotélica del vacío de Galileo (ya que conocía los trabajos de Jean Rey, que en 1630 había comprobado que el aire, como todas las cosas materiales, tiene masa y, por lo tanto pesaba) y decidió repetir el experimento de Berti utilizando mercurio en lugar de agua.



Imagen 6. Ilustración del experimento de Berti.

Por ser la densidad del mercurio 13,6 veces mayor que la del agua, bastaba con un tubo 13,6 veces más corto, por lo cual Torricelli empleó un tubo de un metro para realizar, sin duda, uno de los experimentos más bellos de la ciencia. La altura que alcanza la columna de mercurio sobre el nivel del depósito es de 0,76 metros, cuyo peso es el mismo que el de una columna de agua de 10,33 metros.

El peso debido a la presión del aire empujaría la superficie del mercurio hacia el interior del tubo, elevando el líquido metal, hasta que esta fuerza ascensional fuese equilibrada por el peso del mercurio (**Imagen 7**).

Consecuente con este nuevo dato, nosotros vivimos en la superficie de la Tierra en el fondo de un mar de aire que se extiende hacia el espacio hasta una altura no demasiado grande (unos 11 kilómetros).

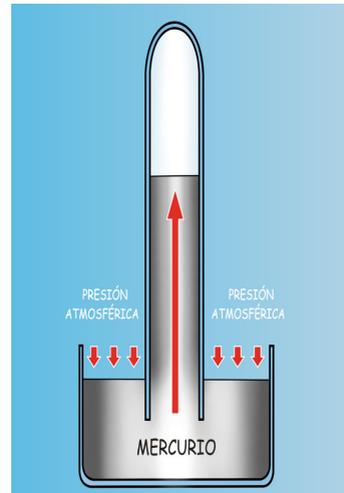


Imagen 7. Representación esquemática del experimento de Torricelli.

Dos nuevos conceptos necesarios: calor y temperatura

Siguiendo nuestro esquema inicial los siguientes conceptos que debemos dominar son los de *calor y temperatura*. Para ello podemos recurrir, de nuevo, a la historia de la ciencia.

Es seguro que los seres humanos, desde sus primeros contactos con el fuego, se dieron cuenta de que los distintos materiales transmitían el calor de la llama de manera diferente. Esta propiedad debió hacerse más evidente cuando dispusieron de materiales metálicos, ya que la conducción del calor por estos es mucho más rápida que por la cerámica y la madera.

En el momento actual la mayoría de los profesores piensan que es útil dar a conocer a los alumnos modelos y teorías que han tenido importancia en la historia de la ciencia, tanto porque son útiles para adquirir los conceptos como por el hecho de que suelen coincidir con la manera de pensar intuitiva de los alumnos. Y justamente en este caso veremos que el método histórico es el más apropiado. Es fácil realizar en el aula experimentos sobre conductividad térmica, como las que realizó

Benjamin Franklin, calentando un extremo de diferentes varillas del mismo diámetro y longitud, a las que se han añadido diferentes trozos de cera a distancias regulares del extremo caliente (**Imagen 8**).

Si pedimos a nuestros alumnos que analicen el resultado del experimento es seguro que reproducirán el mismo de Benjamin Franklin. El calor que se origina en la llama es conducido con una cierta velocidad a lo largo de las varillas, aumentando la temperatura de estas. Cuando la temperatura de un cierto punto alcanza el punto de fusión de la cera, esta se funde, indicándonos cómo el calor avanza a lo largo de las varillas.

En esta explicación están implícitos el concepto de calor como *una cosa, algo material*, como el aire o el agua, que avanza desde los puntos *calientes* a los puntos *fríos*. Esta misma idea permeó la sociedad científica de finales del siglo XIX.

Basta con hacer que los alumnos profundicen sobre el significado de la expresión, *puntos calientes* y *puntos fríos*, para que ellos mismos se den cuenta de que, en realidad, se refieren a puntos a más temperatura y puntos a *menos temperatura*, tal como la indicaba el termoscopio de Galileo y mide el termómetro que inventó Fahrenheit.

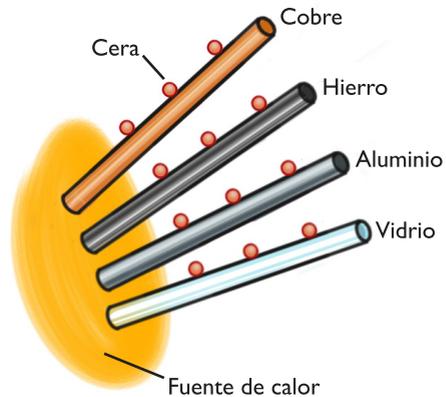


Imagen 8. Ilustración del experimento sobre conductividad térmica de Franklin.

El concepto de temperatura: el termoscopio

Con objeto de determinar el valor del nivel térmico de los cuerpos de alguna forma, Galileo construyó en 1592 un instrumento al que llamó *termoscopio* utilizando vino florentino como líquido indicador.

En el aula podemos utilizar un termoscopio, mucho más sencillo de construir y que funciona por el mismo principio. El instrumento está compuesto por una botella de vidrio transparente, de pequeño volumen (con 0,1 litro es suficiente), cerrada por medio de un tapón o plastilina atravesado por un tubo fino de plástico o una pajita

transparente de refresco (suficientemente larga como para que no se salga el líquido cuando utilizemos el instrumento) cuyo extremo inferior está sumergido en agua teñida con un colorante vegetal de los usados en la cocina (**Imagen 9**).

En este caso, es la superficie del líquido de la pajita la que se encuentra a presión atmosférica, y la superficie del líquido de la botella la que se encuentra sometida a la presión del aire que se encuentra encerrado en ella, cuya presión y volumen cambia al variar la temperatura. Podemos comprobar su funcionamiento calentando con las manos la parte superior de la botella. Al aumentar su temperatura veremos que el nivel del líquido de la pajita asciende.

A continuación emplearemos el termoscopio para determinar *lo caliente* que se encuentran dos recipientes con agua a distinta temperatura. Sumergimos el cuerpo del termoscopio, es decir, la botella en el recipiente con agua fría y observamos cómo desciende el nivel del agua coloreada hasta llegar a una situación estable. Señalamos la posición del nivel de agua coloreada con un rotulador y a continuación sumergimos el termoscopio en el recipiente que contiene agua caliente. El líquido rojo ascenderá hasta llegar a un nivel estable, indicando que ha alcanzado el equilibrio, y marcamos la posición alcanzada. Podemos decir que la altura del líquido en la pajita indica lo caliente que se encuentra el agua en el que hemos sumergido el termoscopio.



Imagen 9. Ilustración de un termoscopio para el aula.

Galileo y otros investigadores de la época comenzaron a considerar el nivel del líquido del tubo como indicador del nivel térmico del cuerpo, al que nos hemos referido, y llamaron a ese nivel *temperatura*. De esta manera, por medio de este instrumento Galileo sustituyó la expresión *lo caliente que se encuentra un cuerpo* por la *temperatura a la que se encuentra un cuerpo*, siendo la altura de la columna una especie de medida de la nueva magnitud: *la temperatura*.

Llegados a este punto merece la pena que reflexionemos sobre el procedimiento que se sigue para medir. Cuando se pone en contacto el termoscopio y el cuerpo cuya temperatura queremos determinar, debemos esperar hasta que la altura de la columna permanezca estable. Esto implica que la temperatura del termoscopio va-

ría hasta ser igual a la del cuerpo cuya temperatura queremos conocer. ¿Cuál es el mecanismo por el que se llega a ese equilibrio? Podemos preguntar a nuestros alumnos para ver cómo razonan.

La respuesta es simple y a la vez complicada. El termoscopio indica la temperatura a la que él mismo se encuentra; cuando sumergimos en agua caliente su temperatura aumenta, por lo que el líquido coloreado asciende por el tubo. El nivel se estabiliza cuando la temperatura del termoscopio es la misma que la del líquido, por lo que la temperatura indicada es, a la vez, la del termoscopio y la del agua en la que lo hemos sumergido.

Lo mismo ocurre cuando lo sumergimos en agua fría. Su temperatura disminuye por lo que el líquido coloreado desciende por el tubo. El nivel se estabiliza cuando la temperatura del termoscopio se iguala a la del líquido y, de nuevo, la temperatura indicada es, a la vez, la del termoscopio y la del agua fría en la que lo hemos sumergido.

Podemos pedir a nuestros alumnos que propongan una definición de *temperatura*, comprobando así si han entendido el proceso que hemos seguido para introducir este concepto.

Pero aún podemos aprender mucho más de la observación de estos procesos. Cuando sacamos el termoscopio del recipiente con agua caliente su temperatura es la misma que la del agua y corresponde al nivel elevado del líquido rojo. Si sumergimos el termoscopio caliente en el agua fría el nivel comienza a descender, indicando que la temperatura del termoscopio disminuye. ¿A qué se debe y cómo se produce esa disminución de temperatura?

Seguramente nuestros alumnos nos habrán dado la explicación. Cuando se ponen en contacto dos cuerpos *el calor pasa del que tiene una temperatura más elevada al que tiene una temperatura más baja* y este proceso continúa hasta que ambos cuerpos llegan al equilibrio, es decir, a estar a *la misma temperatura*. Esta explicación corresponde, como es habitual en ciencia, a un modelo que ha ido modificándose con el paso del tiempo para explicar los fenómenos que se iban descubriendo. Nosotros vamos a ir describiendo estos modelos sucesivos y los experimentos que hicieron necesario los cambios de modelo.

Debemos señalar que cuando Galileo construyó su termoscopio, en 1592, aún no se conocía de forma cuantitativa la ley de los gases perfectos, cuyo primer enunciado referido a la presión y el volumen se debe a Robert Boyle que nació treinta y cinco años después.

La importancia del proceso de medir: la temperatura como magnitud

Muy probablemente nuestros alumnos nos preguntarán la razón por la que llamamos termoscopio en vez de termómetro al instrumento inventado por Galileo. La respuesta es muy sencilla: el nombre del instrumento procede del griego *termo* (calor) y *scopio* (mirar) ya que únicamente se pueden observar con él cambios de temperatura de una manera semicuantitativa. Un termómetro, en cambio, puede *medir la temperatura* (*metro* en griego), proporcionando como resultado de la medida un número seguido del nombre de una unidad (15 grados centígrados, por ejemplo).

Con el conocimiento aportado por Galileo, Fernando II, el Gran Duque de Toscana, perfeccionó el termoscopio, pero no llegó a inventar el termómetro, ya que no hizo uso de puntos fijos al definir su escala, que seguía resultando arbitraria (**Imagen 10**).

A pesar de ello, la mayoría de los termómetros que vemos en la actualidad son de líquido y siguen las líneas generales del termoscopio de Fernando II. Por eso debemos transmitir a nuestros alumnos la idea de que, una vez elaborado el concepto, el establecimiento de una unidad es tan importante como la definición del proceso de medida.

En 1701 Ole Christensen Roemer publicó el primer termómetro con puntos de calibración fijos y reproducibles, utilizando un tubo de vidrio que contenía alcohol. El cero de temperatura correspondía a una mezcla de hielo y sal y asignaba 60 grados a la temperatura de ebullición del agua. Por alguna razón este termómetro no se hizo popular entre los científicos, reservándose para Fahrenheit la gloria de construir el primer termómetro operativo y ampliamente utilizado.

En 1724 Daniel Gabriel Fahrenheit estableció una escala objetiva de temperaturas de tres puntos fijos y, por lo tanto, una unidad. Fahrenheit, usando tubos de vidrio calibrado y mercurio, tomó como puntos de calibración las temperaturas de la mezcla frigorífica (0° F), la de fusión del hielo (32° F) y la del cuerpo humano (96° F). Así eliminó la necesidad de utilizar frecuentemente temperaturas negativas, como ocurría con el termómetro de Roemer.

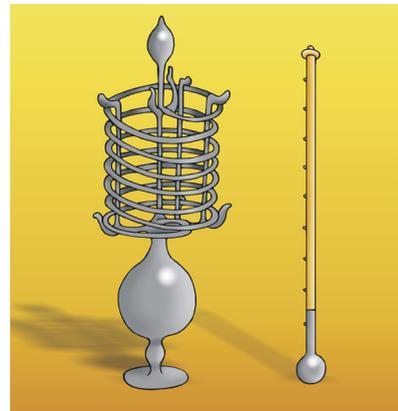


Imagen 10. Ilustración de termoscopios de Fernando II (también conocidos como termómetros florentinos).

Además, la sustitución del alcohol del termómetro de Roemer por mercurio presentaba la ventaja de que el termómetro se podía utilizar hasta los 600° F, temperatura de ebullición del mercurio (unos 356° C). Algunos de nuestros alumnos pueden preguntarnos cómo es posible que Roemer midiese temperaturas de 100° C (la de ebullición del agua) con un termómetro de alcohol etílico, que hierve a unos 79° C. La razón es que esta temperatura es la de ebullición a presión atmosférica; al estar el tubo del termómetro cerrado (al vacío) permanece con una fase líquida hasta alcanzar el punto crítico, a partir del cual no existe fase líquida. Para el etanol esta temperatura es de 241° C y la presión 65 bar, por lo cual podemos utilizar un termómetro de alcohol etílico (con el vidrio suficientemente grueso) para medir temperaturas de 100° C.

Una vez que disponemos de una unidad de *temperatura* es fácil definir la unidad de cantidad de calor. Como ya comentamos en «Breve historia de la máquina de vapor», la primera unidad de cantidad de calor fue la British Thermal Unit (BTU) que corresponde, en medidas modernas, a 1055 julios (J). Así, a partir de 1724 se pudieron realizar cálculos con cantidades de calor, lo que posibilitó la caracterización de los materiales y la ingeniería de máquinas térmicas.

Más adelante, en 1742, Anders Celsius definió una nueva escala de temperaturas con dos nuevos puntos fijos, el punto de congelación del agua y el de ebullición. Esta escala, corregida por Carlos Linneo en 1745, es la escala centígrada que se utiliza en la actualidad, salvo en los países anglosajones. La unidad de cantidad de calor correspondiente a la escala centígrada es la caloría (con c minúscula), que se define como la cantidad de calor necesaria para aumentar en 1 grado Celsius (C) la temperatura de un gramo de agua y equivale a 4,18 J.

Con estos adelantos en la conceptualización y en la medida es fácil comprobar que si se ponen dos cuerpos en contacto el calor siempre fluye del de mayor temperatura al de menor temperatura. Así, el proceso tiende a equilibrar ambos cuerpos a la misma temperatura, momento en el que el calor deja de fluir.

El primer modelo práctico del calor: el calórico de Lavoisier

De descubrimiento en descubrimiento, llegamos al año 1789, en el que se produjo la Revolución francesa y en el que el químico francés Antoine Lavoisier publicó su libro *Traitée Élémentaire de Chimie*, postulando la existencia de un nuevo fluido al que llamó *calórico*, responsable de todos los procesos térmicos. Lavoisier pensó que el calórico era un elemento, como el hidrógeno o el oxígeno.

El calórico no tenía masa ni peso, era inodoro e invisible y estaba formado por partículas que se repelían entre sí. Esta fuerza de repulsión era la responsable de que el calórico pasara de los cuerpos calientes (que tenían mayor densidad de partículas de calórico) a los cuerpos fríos. Es fácil ver, desde nuestro siglo XXI, que el calórico se comportaba a grandes rasgos como lo hace el calor, *energía cinética de las partículas*. Por ello, Carnot pudo utilizarlo para su estudio termodinámico de las máquinas de vapor, lo que nos enseña que los modelos científicos no tienen que ser necesariamente exactos para ser útiles.

Lavoisier utiliza la definición de elemento de Boyle: una sustancia pura que no puede descomponerse en otras más sencillas

En el lenguaje moderno los *elementos* son los *átomos* de la tabla periódica y las *sustancias* las *moléculas* que se forman por combinación de los átomos. Con este modelo Lavoisier describió el proceso de combustión *como una combinación de un elemento con oxígeno, semejante al de la respiración de los seres vivos*, comenzando así lo que se considera la química moderna. En su libro Lavoisier enumeró la siguiente serie de elementos (**Imagen 11**).

Como vemos, los dos primeros elementos de Lavoisier son la luz y el calor, aunque ahora sabemos que son dos formas de *energía* y, por lo tanto, no deberían haber sido incluidos en la relación.

El cuadro que hemos incluido (**Imagen 12**), realizado por David, representa a Lavoisier con su esposa, Marie-Anne Pierrette, y en él aparecen algunos elementos de laboratorio que indican la faceta científica de ambos. Marie-Anne era hija de uno de los propietarios de La Ferme Générale, una empresa concesionaria de la recau-

	Noms nouveaux	Noms anciens correspondans
Substances simples qui appartiennent aux trois régnes & Qu'on peut regarder comme les élémens de corps.	Lumière.	Lumière.
	Calorique.	Chaleur. Principe de la chaleur. Fluide igné. Feu.
	Oxygène.	Matière du feu & de la chaleur. Air déphlogiftiqué. Air empiréal. Air vital. Bafe de l'air vital.
	Azote.	Gaz phlogiftiqué. Mofete. Bafe de la mofete. Gaz inflammable. Bafe du gas inflammable.
	Hydrogène.	Soufre. Phofphore. Charbon pur.
Substances simples non métalliques oxidables & acidifiables.	Soufre.	Inconnu.
	Phofphore.	Inconnu.
	Carbone.	Inconnu.
	Radical muriatique.	Antimoine.
	Radical fluorique.	Argent.
	Radical boracique.	Arfenic.
	Antimoine.	Bifmuth.
	Argent.	Cobolt.
	Arfenic.	Cuivre.
	Bifmuth.	Etain.
Substances simples métalliques oxidables & acidifiables.	Cobolt.	Per.
	Cuivre.	Manganéfe.
	Etain.	Mercure.
	Per.	Molybdéne.
	Manganéfe.	Nickel.
	Mercure.	Or.
	Molybdéne.	Platine.
	Nickel.	Plomb.
	Or.	Tungftene.
	Platine.	Zinc.
Substances simples falifiables terreftes.	Plomb.	Chaux.
	Tungftene.	Magnéfié.
	Zinc.	Magnéfié, bafe du fel'd Epfom.
	Chaux.	Barote, terre pefante.
	Magnéfié.	Argile, terre de l'alun, bafe de l'alun.
Barote, terre pefante.	Silice.	Terrefiliceufe, terre vitrifiable.

Imagen 11. Elementos propuestos por Lavoisier en *Traitée Élémentaire de Chimie*.

dación de impuestos del reino en la que Lavoisier aparecía como socio. Por esa razón y por el odio de Marat, fue arrestado en 1793, procesado y guillotinado el 8 de mayo del año siguiente a los cincuenta años de edad.

Huygens y el invento del motor de explosión

En 1629 nace Christiaan Huygens en La Haya, en una familia cuyo padre, diplomático de profesión, era amigo personal de Galileo, René Descartes y Marin Mersenne, proporcionando a Christiaan una educación acorde con las aficiones de su progenitor.

La razón por la que Huygens aparece en nuestra historia es por inventar el primer motor de émbolo con posibilidades de funcionar. Pero no fue ese su único mérito. En 1656 construyó el primer reloj de péndulo, sustituyendo a los de *foliot*, muy imperfectos. En 1660 Huygens se trasladó a París, donde obtuvo el puesto de *curator* (encargado de los laboratorios y talleres de experimentación) en la Académie des sciences.

Esta institución contrató, en 1671, a un experimentado investigador llamado Denis Papin, que ya contaba cincuenta años, como ayudante de Huygens. Papin construyó y experimentó con una posible máquina, que funcionaba con pólvora como combustible, siguiendo las indicaciones de su maestro. La máquina de pólvora (**Imagen 13**) fue descrita en 1678 y es el primer motor de explosión que se conoce.

El funcionamiento de la máquina es conceptualmente muy simple. Con el émbolo (o pistón) en la posición inferior se introduce pólvora (como en la recámara de un cañón) y se hace explotar. Los gases generados por la combustión de la pólvora producen en el interior del cilindro una presión superior a la atmosférica, empujando el pistón hacia la parte superior del cilindro. Al llegar al punto superior el pistón descubre dos orificios por los que los



Imagen 12. Retrato de Antoine-Laurent y Marie-Anne Lavoisier, óleo sobre lienzo de Jacques Louis David.

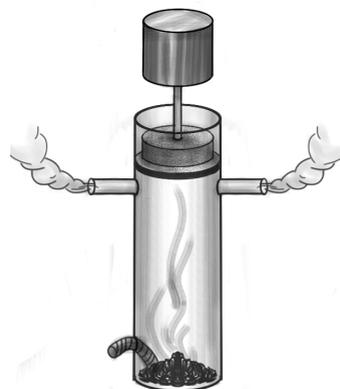


Imagen 13. Ilustración de la máquina de pólvora (gunpowder engine) de Huygens-Papin.

gases del interior escapan a la atmósfera, reduciendo la presión del interior del cilindro hasta el valor de la presión atmosférica. El peso del cilindro hace que descienda hasta la posición inferior, a la vez que se impide que el gas remanente se comprima mediante la apertura del orificio de carga, situado en la parte inferior.

Papin se trasladó a Londres poco después de la publicación del motor, con la idea de construir una máquina mejorada, interesándose en el empleo del vapor de agua en sustitución de los gases de combustión de la pólvora.

Papin y el primer diseño conceptual de máquina de vapor

En Londres Papin trabajó a las órdenes de Robert Hooke, el cual realizó entre otras cosas descubrimientos en elasticidad. Papin estudio la relación entre la temperatura de ebullición y la presión, desarrollando la olla a presión (*steam digester*) que, trescientos años después, todavía utilizamos en nuestras cocinas.

Pero en este artículo estamos interesados en su máquina de vapor, una variación del prototipo de la máquina de pólvora. Papin decidió utilizar agua líquida en lugar de pólvora y transformarla en vapor para elevar el pistón de su máquina, que construyó en 1690. Para volver a su punto inicial únicamente tendría que enfriar el vapor y volver al estado líquido. El motor consiste en un cilindro metálico y un émbolo o pistón que ajusta al cilindro por medio de juntas de cuero engrasadas con una pequeña cantidad de agua en su interior.

Las máquinas constituidas por un cilindro y un émbolo funcionan todas en un ciclo repetitivo que los ingenieros dividen en tiempos. Un tiempo comprende el movimiento del émbolo desde el punto inferior de su recorrido al punto superior del mismo, o viceversa. El ciclo de la máquina comprende un número entero de tiempos, de manera que al final del ciclo la máquina se encuentre exactamente en el punto inicial del ciclo siguiente. La máquina de Papin corresponde a la clase de máquinas cuyo ciclo es de dos tiempos y pasaremos a estudiarla a continuación con mayor detalle que en nuestro anterior trabajo.

En el primer tiempo se aplica calor al cilindro por medio de una llama, hasta que se alcanza la temperatura de ebullición del agua. Como la presión a la que se encuentra el líquido es superior a la atmosférica (debido al peso del émbolo), comenzará a hervir a una temperatura algo superior a los 100° C.

En esta parte del ciclo ocurren diferentes procesos, muy interesantes en sí mismos; los podemos describir como lo haría, de forma elemental, el mismo Sadi Carnot: en primer lugar, el calor de la llama (que se encuentra entre 1000 y 1500° C) pasa al metal del cilindro y después al agua, que se encuentra a temperatura muy inferior a la de la llama. El agua, al absorber calor, aumenta su temperatura paulatinamente. Este aumento de temperatura absorbe una caloría por gramo de agua. La temperatura del agua del cilindro va aumentando a medida que absorbe el calor generado por la combustión hasta llegar a los 100° C, momento en el que comienza a hervir.

Este proceso de cambio de estado es especialmente importante y merece un estudio aparte. Fue Joseph Black, maestro de Watt, el que estudió por primera vez los procesos de cambio de estado desde el punto de vista térmico.

Joseph Black nació en Francia en 1728 (cuatro años después de la construcción del primer termómetro Fahrenheit) y murió en Edimburgo, en 1799 (diez años después del comienzo de la Revolución Francesa). Su gran descubrimiento consistió en darse cuenta de que cuando un gramo de agua líquida absorbe una caloría, la emplea en aumentar un grado su temperatura. Pero cuando alcanza la temperatura de ebullición, el agua sigue absorbiendo calor sin que su temperatura aumente.

Black conceptualizó este proceso de la siguiente forma: cuando se produce un cambio de estado, por ejemplo, de líquido a gas, la temperatura se mantiene constante en tanto existan las dos fases, líquido y gas. El sistema absorbe calor, que emplea en el cambio de estado, sin que se produzca aumento de temperatura.

La cantidad de calor absorbido que se emplea en el cambio de estado, por ejemplo en pasar de líquido a gas, lo llamó *calor latente* de cambio de estado, en nuestro caso de vaporización.

En el caso del agua, el calor de vaporización es de unas 540 calorías por gramo, que se emplean en romper los enlaces que mantienen a las moléculas en estado líquido. Como elemento de comparación diremos que el calor latente de fusión del hielo es de unas 80 calorías.

Volvamos a nuestra máquina, ayudados por las investigaciones de Black, podemos decir que el agua del cilindro, una vez alcanzada la temperatura de ebullición, sigue absorbiendo 540 calorías por gramo hasta su completa evaporación. En cambio, una vez transformado en vapor solo absorbe 0,48 calorías por gramo y grado de aumento de temperatura.

Al aparecer vapor de agua en el cilindro y seguir absorbiendo calor, se desarrolla una presión superior a la atmosférica, por lo que el émbolo comenzará a ascender hacia el punto superior del recorrido; allí se completa el primer tiempo del ciclo (**Imagen 14**).

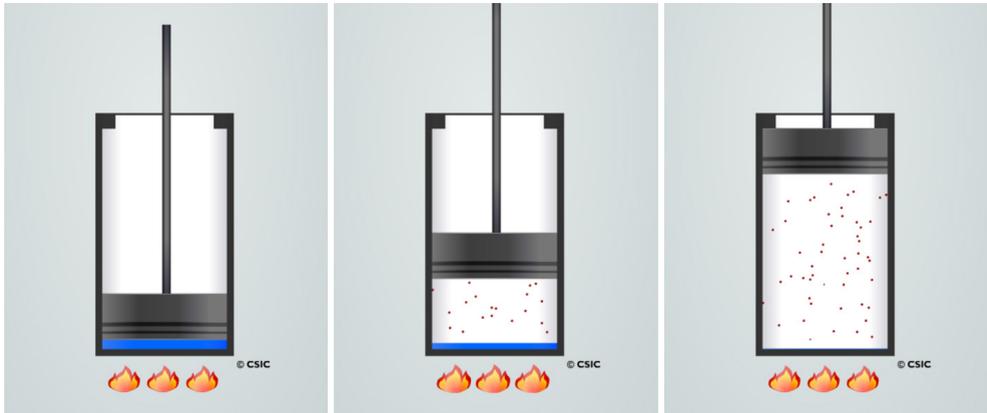


Imagen 14. Sucesión: inicio del ciclo, inicio del primer tiempo y final del primer tiempo.

Como la madera tiene un poder calorífico de unos cinco millones de calorías por cada kilogramo que se quema, es fácil hacerse una idea aproximada del consumo teórico de la máquina.

Una vez alcanzada esta situación, se retira el fuego y se refrigera el cilindro por medio de unos chorros de agua fría. El agua absorbe calor de las paredes del cilindro, con lo que la temperatura de las paredes baja por debajo del punto de rocío del interior de la máquina (**Imagen 15**).

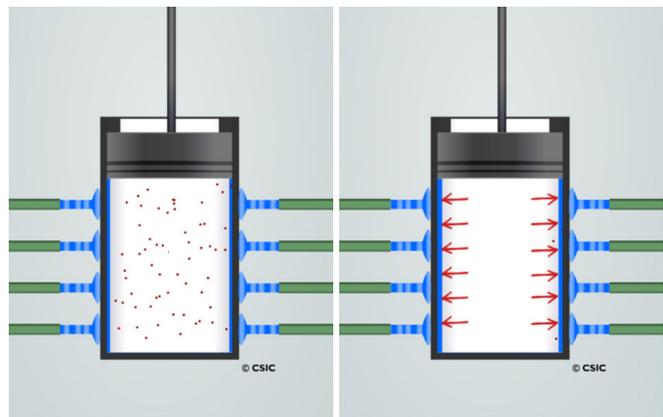


Imagen 15. El agua absorbe calor de las paredes del cilindro y se condensa el vapor.

La condensación del vapor crea un vacío parcial dentro del cilindro, con lo cual la presión atmosférica exterior lleva al pistón a su punto inferior, terminando así el segundo tiempo de la máquina (**Imagen 16**). Como la fuerza que produce este descenso se debe a la presión atmosférica, a estas máquinas se las llamaba *máquinas atmosféricas*.

Es fácil calcular la fuerza que se ejerce sobre la superficie superior del émbolo; dado que el valor de la presión atmosférica es de unos 10 N por centímetro cuadrado, una máquina de 1 metro de diámetro produciría unos 75000 N de fuerza sobre el pistón, fuerza que corresponde a la que proporcionarían unos cien caballos, de acuerdo con el cálculo que hicimos en

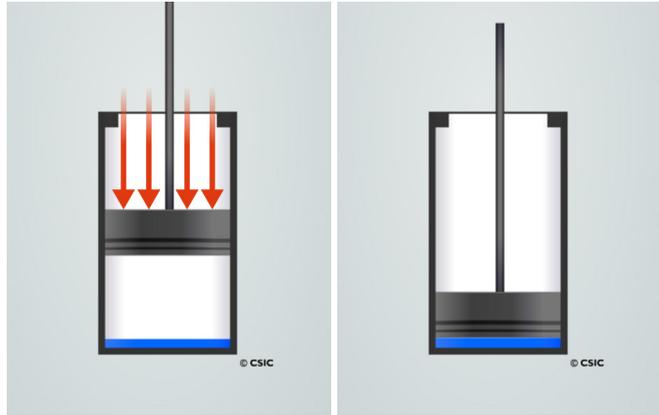


Imagen 16. Fin del segundo tiempo de la máquina.

el caso de los hemisferios de Magdeburgo. El efecto de esta fuerza es llevar el pistón al punto inferior. Esta situación marca el final del segundo tiempo, reproduciéndose la situación previa al primer tiempo del siguiente ciclo.

Papin pensó aplicar la máquina para bombear agua de las minas o para mover un eje al que se pudieran conectar correas motrices, haciendo el mismo efecto que las turbinas de los saltos de agua (**Imagen 17**).

Experimento para familiarizarse con los procesos que ocurren durante el funcionamiento de la máquina de Papin

Para que los alumnos se den cuenta de la enorme fuerza que la presión atmosférica puede producir podemos realizar un experimento fácil y de interpretación sencilla: la implosión de un bote de refresco. Para ello preparamos un bote vacío de un tercio de litro y vertemos en él unos 20 centímetros cúbicos de agua. A continuación lo calentamos con la llama de un mechero de alcohol hasta que oigamos el ruido típico que indica que el agua está hirviendo. Seguimos aplicando calor durante medio minuto, observando la neblina que sale por la parte superior del bote, de

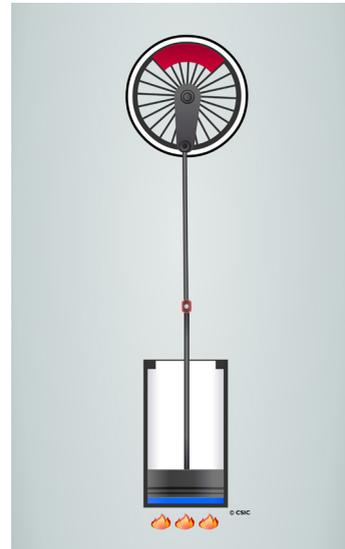


Imagen 17. Nuestra recreación de la máquina de Papin adaptada a un eje.

manera que el vapor producido por la ebullición arrastre todo el aire contenido en el bote.

En este punto, en el interior de la lata de refresco no debe quedar más que vapor de agua, ya que el aire que contenía ha sido obligado a salir por la corriente de vapor y la temperatura de la pared debe ser superior a los 100°C . A continuación tomamos el bote por la chapa de la apertura con unas pinzas o unos alicates pequeños y lo sumergimos rápidamente en un recipiente con agua, con la apertura hacia abajo. Inmediatamente la temperatura de la chapa bajará por debajo de los 100°C y el vapor se condensará rápidamente, produciendo un vacío parcial en el interior de la lata. Como la presión exterior es la atmosférica la lata implotará (**Imagen 18**).

Una vez realizado el experimento delante de nuestros alumnos deberemos asegurarnos de que entienden cada uno de los pasos del proceso.

A continuación mostramos a la clase la siguiente fotografía, pidiéndoles que nos expliquen qué ha ocurrido (**Imagen 19**).

El depósito cilíndrico se destinaba probablemente a transportar algún tipo de líquido con punto de ebullición bajo. Cuando estaba abierto, recibiendo los rayos del sol, algún operario cerró los grifos; al enfriarse se condensó el vapor de su interior disminuyendo la presión, provocando la implosión del depósito.



Imagen 18. Ilustración de la experiencia de implotar un bote.



Imagen 19. Implosión de depósito cilíndrico. Fuente: YouTube.

Construcción de una máquina de vapor en el aula

La fabricación de la máquina es muy sencilla. Consta de un bote de refresco de un tercio de litro al que se le ha unido un tubo de unos 15 centímetros de longitud, de cobre. Para la unión se ha empleado un polímero de dos componentes de los que se utilizan en fontanería. Se introduce en el bote una pequeña cantidad de agua y se coloca un globo, de goma gruesa, en extremo superior del tubo. En esta situación nuestra máquina se encuentra en el inicio de primer tiempo del ciclo (**Imagen 20**).

A continuación se calienta la lata de refresco por medio de un mechero, hasta que hierva el agua. El vapor resultante infla el globo.

Seguimos calentando hasta que el volumen del globo aumente hasta el punto que deseemos. Este punto corresponde al final del primer tiempo y el inicio del segundo.

En este punto se retira la llama y se sumerge la lata en un recipiente con agua, lo que provoca la disminución de la temperatura de la misma, produciéndose la condensación del vapor de agua. La presión en el interior de la lata se reduce y el globo se deshincha a lo largo del segundo tiempo.

Si el conjunto no tiene poros, cuando se haya condensado el vapor producido en el primer tiempo nos encontraremos en las condiciones iniciales, final del segundo tiempo y comienzo de un nuevo ciclo.



Imagen 20. Ilustración de nuestra máquina de vapor para el aula.

Los principios de la termodinámica

Debe quedar claro en la mente de los alumnos, algunas características básicas del funcionamiento de estas máquinas:

- El trabajo útil que realizan se debe a que aparece una fuerza (producida por la presión atmosférica sobre el pistón) que actúa a lo largo del recorrido del émbolo.
- Para que la máquina funcione es imprescindible la existencia de dos elementos, uno a alta temperatura (el fuego) y otro a baja temperatura (el agua de refrigeración). El foco caliente cede calor a la máquina y el foco frío absorbe calor.

- La máquina funciona gracias al calor suministrado por el foco caliente menos el calor que se ha cedido al foco frío. Por lo tanto podemos decir que convierte una parte de esa cantidad de calor en trabajo.
- No todo el calor que se le suministra se transforma en trabajo. De hecho, en esta máquina, la mayoría del calor suministrado se emplea en calentar el cilindro y el émbolo, para luego volver a enfriarlo al final del ciclo.

Estas observaciones dieron lugar a los los tres principios básicos de la termodinámica:

- **Principio cero:** si se ponen en contacto dos objetos a diferente temperatura, el calor pasará del cuerpo a temperatura más elevada (más caliente) al de menor temperatura, hasta que ambas se igualen (se alcance el equilibrio).
- **Primer principio:** no se puede obtener energía de la nada; la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma. En nuestro caso la energía calorífica se transforma en trabajo.
- **Segundo principio:** toda máquina térmica que funcione en ciclos debe absorber calor de un foco caliente y ceder parte del mismo a un foco frío. Podemos añadir que el rendimiento de la máquina, es decir, la parte de calor que se transforma en trabajo, aumenta al aumentar la diferencia entre la temperatura de ambos focos.

Marco de referencia histórico

Creemos, y es nuestra práctica habitual, que la enseñanza de cualquier contenido científico en las aulas no debe ser nunca ajena al desarrollo histórico de los conceptos y personajes que intervienen. Las razones son múltiples: conveniencia didáctica, transversalidad con otras disciplinas, situación temporal de los problemas y paradigmas del momento, etc.

Proponemos al maestro no solo realizar un marco histórico con los científicos intervinientes sino ampliarlo también a otros personajes y movimientos de carácter artístico, político, etc. Las personas que crean conocimiento científico no son nunca ajenas a su sociedad contemporánea ni a sus ideas y creencias.

En el caso de los protagonistas de este artículo valga un breve esquema temporal de aproximadamente tres siglos de grandes cambios sociales (**Imagen 21**).

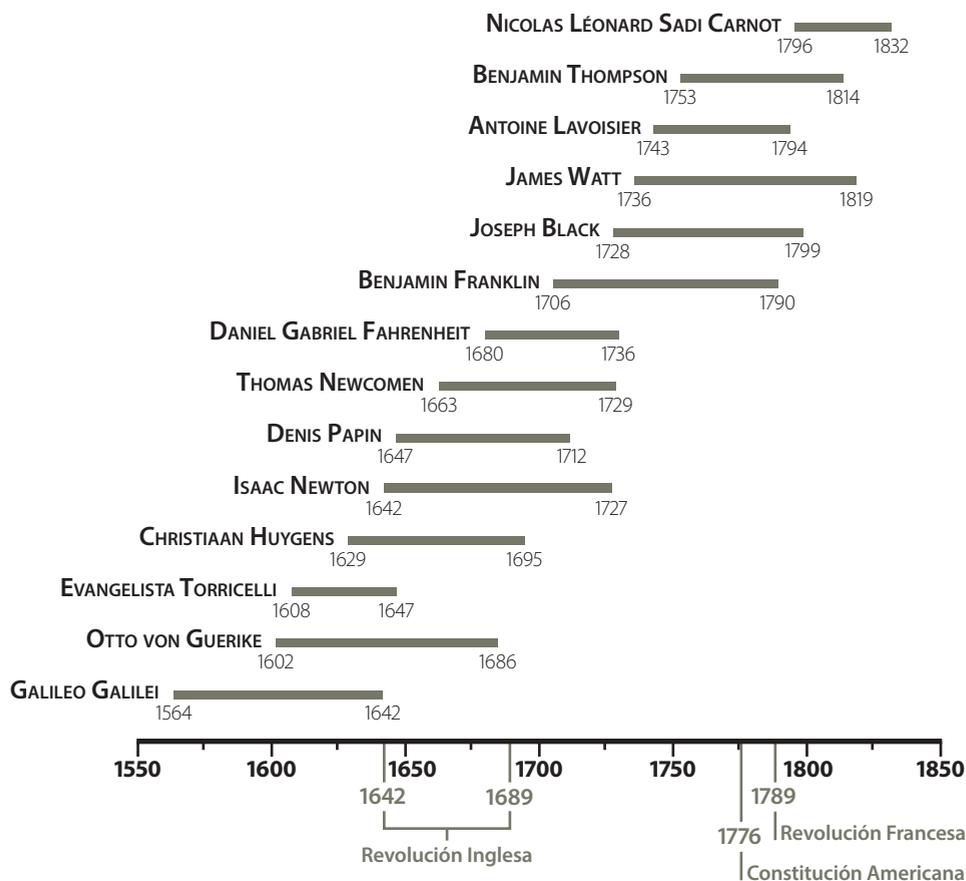


Imagen 21. Extensión temporal de la vida de los científicos, protagonistas de este trabajo, en función de algunos acontecimientos históricos.

Agradecimientos

Esta publicación forma parte de las actividades de comunicación social de la ciencia previstas en el *Proyecto El CSIC y la FBBVA en la Escuela 2013-2015* que cuenta con la financiación de la Fundación BBVA.

Recursos complementarios

Termoscopio para el aula. Museo Virtual de la Ciencia (CSIC). Recursos Complementarios. [En línea]: <http://museovirtual.csic.es/recursos/recursos_csic_escuela2.htm>.

Implosión de un bote. Museo Virtual de la Ciencia (CSIC). Recursos Complementarios. [En línea]: <http://museovirtual.csic.es/recursos/recursos_csic_escuela3.htm>.

Tanker Implodes. YouTube. [En línea]: <<http://www.youtube.com/watch?v=8RiDWnzDQsQ>>.

Máquina de vapor para el aula. Museo Virtual de la Ciencia (CSIC). Recursos Complementarios. [En línea]: <http://museovirtual.csic.es/recursos/recursos_csic_escuela.htm>.

Proyecto «vacío». Ciencia en el Aula. Teoría Molecular: experiencias en el aula. El CSIC en la Escuela. MARTÍN M.; PALACIOS, A.; JIMÉNEZ, M.^a C.; RODRÍGUEZ, S. [En línea]: <<http://www.csicenlaescuela.csic.es/proyectos/moleculas/experiencias/corella/pdf/vacio.pdf>>.

Referencias bibliográficas

BERNOULLI, D. *Hydrodynamica: sive de viribus et motibus fluidorum commentarii*. Argentorati, Johann Reinhold Dulsecker. 1738. [En línea]: Books.Google <<http://books.google.es>> [consulta octubre 2013].

CARNOT, S. *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*. Annales scientifiques de l'ENS. Serie 2. Tomo 1. 1872. Archivos Numdam. [En línea]: <<http://archive.numdam.org>> [consulta diciembre 2013].

GALILEI GALILEO. *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti la meccanica e i movimenti locali*. Leiden. 1638. Ousia. [En línea]: <<http://www.ousia.it/content/Sezioni/Testi/GalileiDimostrazioniMatematiche.pdf>> [consulta noviembre 2013].

GRIBBIN, J. *Historia de la ciencia 1543-2001*. Crítica. Barcelona. 2006. 553 pp.

LAVOISIER A. L. *Traitée Élémentaire de Chimie*. Paris: Cuchet, 1789. Wikipedia. [En línea]: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=File%3ALavoisier_-_Trait%C3%A9_%C3%A9l%C3%A9mentaire_de_chimie.djvu&page=1> [consulta noviembre 2013].

LÓPEZ SANCHO, J. M.; GÓMEZ DÍAZ, M. J.; REFOLIO REFOLIO, M.^a C.; LÓPEZ ÁLVAREZ, J. M. *Descubriendo las moléculas: un proyecto para el aula*. Material Didáctico. Madrid: Comunidad de Madrid. Consejería de Educación. Dirección de Orientación Académica. 2006. 200 pp.

MARTÍN MARTÍN, M. & RODRÍGUEZ SAMBLAS, S. *Proyecto sobre el vacío: la máquina de Savery*. Serie El CSIC en la Escuela. Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula. N.º 2, pp. 7-15. Editorial CSIC. 2011. <<http://libros.csic.es/index.php?cPath=95>>.

MORENO GÓMEZ, E. & LÓPEZ SANCHO, J.M. *Breve historia de la máquina de vapor*. Serie El CSIC en la Escuela. Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula. N.º 6, pp. 104-114. Editorial CSIC. 2012. <<http://libros.csic.es/index.php?cPath=95>>.

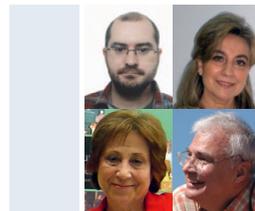
Retrato de Monsieur Lavoisier y su esposa. Licencia de Dominio Público. Wikipedia. <http://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:David_-_Portrait_of_Monsieur_Lavoisier_and_His_Wife.jpg>.

Start your Engines. Huygen's explosion engine. [En línea]: <<http://library.thinkquest.org/C006011/english/sites/huygens.php3?v=2>> [consulta noviembre 2013].

VALENTI P. *Leibniz, Papin and the Steam Engine: A Case Study Of British Sabotage of Science*. American Almanac. 1996. [En línea]: <http://members.tripod.com/~american_almanac/papin.htm> [consulta noviembre 2013].

Wikipedia. Christiaan Huygens. [En línea]: <http://en.wikipedia.org/wiki/Christiaan_Huygens> [consulta noviembre 2013].

Construcción y estudio de una máquina de vapor sin partes móviles



Esteban Moreno Gómez *, M.ª José Gómez Díaz

VACC-CSIC. El CSIC en la Escuela

**M.ª Carmen Refolio Refolio y
José M.ª López Sancho**

IFF-CSIC. El CSIC en la Escuela

Palabras clave

Máquina de vapor, barco, aplicación para el aula, caldera, calor, evaporación, cantidad de movimiento, termodinámica, leyes de conservación, Papin, Newton.

Resumen

En este trabajo presentamos una propuesta de aplicación al aula, basada en el estudio de un caso concreto, el conocido motor de vapor sin piezas móviles originario del siglo XIX, patentado por Tomas Píot en el Reino Unido en 1891 y subsiguientemente patentada en otros países por diferentes inventores.

El estudio de la máquina, realmente ingeniosa, se presenta inicialmente de manera que se comprenda de una forma intuitiva y se trata con detalle el proceso de construcción.

Una vez que el alumno se ha familiarizado con la máquina y su funcionamiento, el conocimiento que ha adquirido se puede utilizar para introducirle en los principios físicos de su funcionamiento claves en el desarrollo industrial de la máquina de vapor, protagonista de la revolución industrial. Se proponen otras experiencias para el aula para asimilar el principio de acción-reacción y la conservación de la cantidad de movimiento.

Esta aplicación para el aula se contempla como complemento a los cursos de formación del profesorado sobre mecánica que imparten los autores.

Presentación del barco objeto de la investigación

La primera operación que realizaremos será la de presentarles el barco de vapor terminado y en marcha, de manera que realice también la función de experimento provocador (**Imagen 1**).

.....
* E-mail del autor: esteban@orgc.csic.es.



Imagen 1. Distintas perspectivas del barco.

El barco está construido de manera que permita ver la máquina que lo impulsa (**Imagen 2**). Los materiales son fáciles de encontrar y el barco es sencillo de construir. Como podemos observar, el barco se desplaza con una velocidad suficiente para que podamos, si lo deseamos, dotarlo de un timón clásico que lo dirija, permitiéndonos estudiar el momento de las fuerzas que produce la máquina, aplicando los contenidos del curso de formación científica del profesorado *Mecánica: las leyes de Newton*.

Como en toda operación de ingeniería inversa debemos plantearnos, conjuntamente con nuestros alumnos, una estrategia apropiada. En primer lugar identificaremos los elementos esenciales de la máquina y sus funciones.

El casco, constituido por la placa de poliestireno, corcho o de cualquier tipo de material de poca densidad, aun-

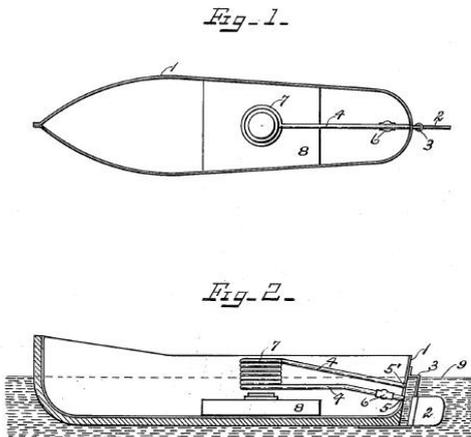


Imagen 2. Barco de vapor «pop pop boat» según el diseño patentado de William Purcell (1920).

que también se puede utilizar algún material transparente que permita ver el interior. El casco es el encargado de proporcionar flotación al barco y, como tal, puede ser objeto de estudio, como aplicación del principio de Arquímedes y de las leyes del equilibrio que hemos estudiado en los cursos de formación del profesorado (*Mecánica: estática y principio de Arquímedes*).

La **máquina**, formada por:

- La **caldera** que está constituida por la parte del tubo de cobre lleno de agua y por la llama de la vela que proporciona energía calorífica.
- La **tobera**, formada por la parte del tubo que sobresale por la popa y juega el papel de la hélice en los barcos convencionales. Es la parte encargada de proporcionar propulsión al barco (**Imagen 3**).



Imagen 3. Adaptación a un casco de barco comercial de la máquina de nuestro barco.

Construcción práctica del barco

En primer lugar realizaremos un modelo de la máquina, utilizando un cable de cobre de los utilizados en las instalaciones eléctricas de las viviendas. Enrollamos el cable sobre un cilindro de unos dos centímetros y medio y fabricamos una espiral de unas pocas vueltas (**Imagen 4**). Nosotros hemos utilizado un modelo de 5 espiras, pero sin duda se puede modificar y mejorar mediante ensayos, por ejemplo también hemos desarrollado un modelo de 2 espiras (**Imagen 1**).

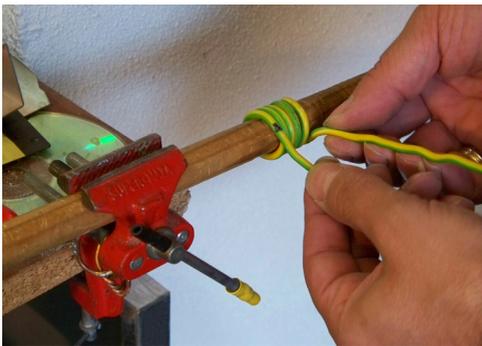


Imagen 4. Realización del modelo de máquina de cinco espiras con cable de cobre.

Una vez terminado el modelo lo extraemos del cilindro y completamos el diseño. Es conveniente realizar tres o cuatro modelos iguales, de manera que podamos deshacer alguno si fuese necesario, para realizar medidas o compararlo con variaciones introducidas más tarde.

A continuación, utilizando el modelo como patrón, comenzamos la construcción de la máquina de vapor real. Para ello medimos la longitud del cable utilizado y cortamos la longitud correspondiente de tubo de cobre o latón y separamos la longitud necesaria utilizando una herramienta de corte para tubos de fontanería (**Imagen 5**).

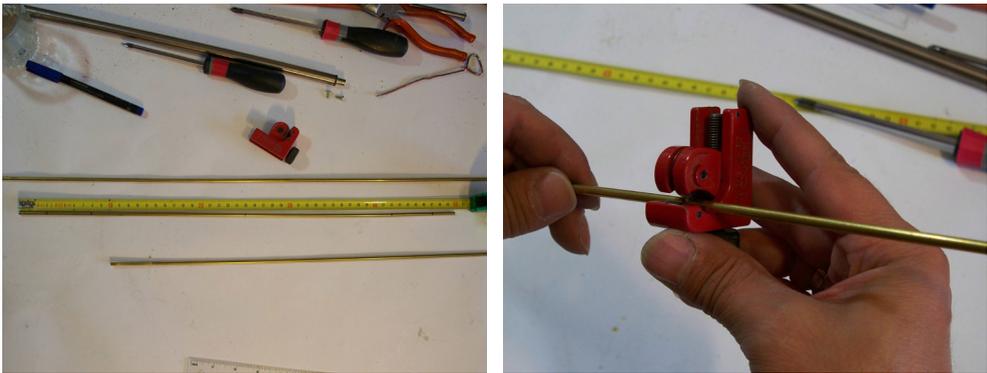


Imagen 5. Medida del tubo necesario y corte del mismo.

Como vamos a tener que curvar el tubo, es imprescindible llenarlo de arena previamente, de manera que evitemos que se colapse en la operación de fabricación de la espiral. Y para llenarlo de arena debemos cerrar uno de los extremos. Nosotros hemos utilizado un tornillo de rosca de chapa. Seguidamente procedemos a llenar el tubo de latón con arena suficientemente fina (**Imagen 6**).

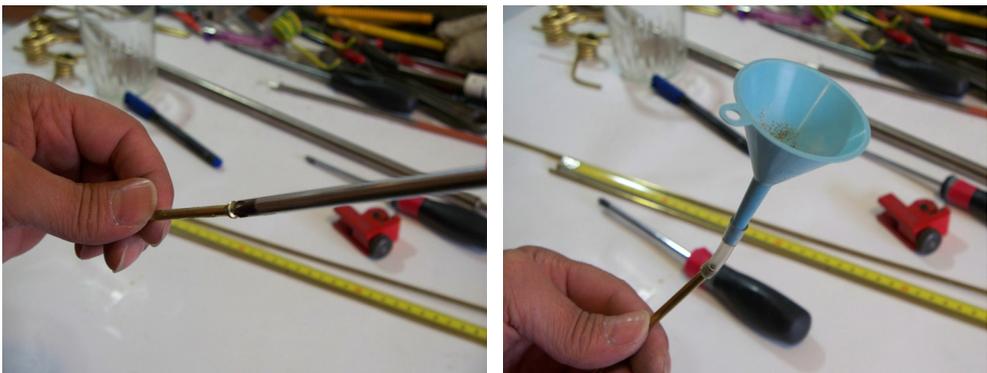


Imagen 6. Relleno del tubo con arena fina.

Una vez que el tubo este relleno de arena cerramos el extremo que habíamos dejado abierto. Nos encontramos así con un tubo preparado para fabricar la espiral. En ese tubo señalamos los puntos en los que debe comenzar a curvarse y las partes rectas finales de las toberas, y comenzamos la operación de curvado. Volvemos a utilizar el molde que usamos en la fabricación del modelo, ahora para realizar la máquina final (**Imagen 7**).

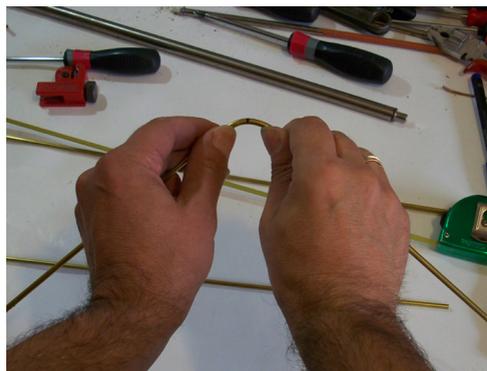


Imagen 7. Fabricación del tubo en espiral.



Una vez terminada la espiral nuestro trabajo debe presentar el siguiente aspecto, todavía con la arena en el interior del tubo (**Imagen 8**).

Extraemos la espiral y doblamos los extremos por los puntos señalados previamente, de manera que queden rectos y paralelos. A continuación doblamos de nuevo los extremos del tubo que se convertirán en toberas y habremos terminado el moldeado de la máquina de vapor y liberamos los extremos del tubo para extraer la arena (**Imagen 9**).



Imagen 8. Espiral terminada.

De esta forma habremos terminado la construcción de la máquina de vapor (**Imagen 10**). A este tubo, que forma la caldera y tobera de la máquina de vapor, tendremos que añadirle la caldera, es decir, una llama, para lo cual podemos usar una vela o una lamparilla de aceite; nunca de alcohol, por lo peligroso que puede resultar su uso en el aula.

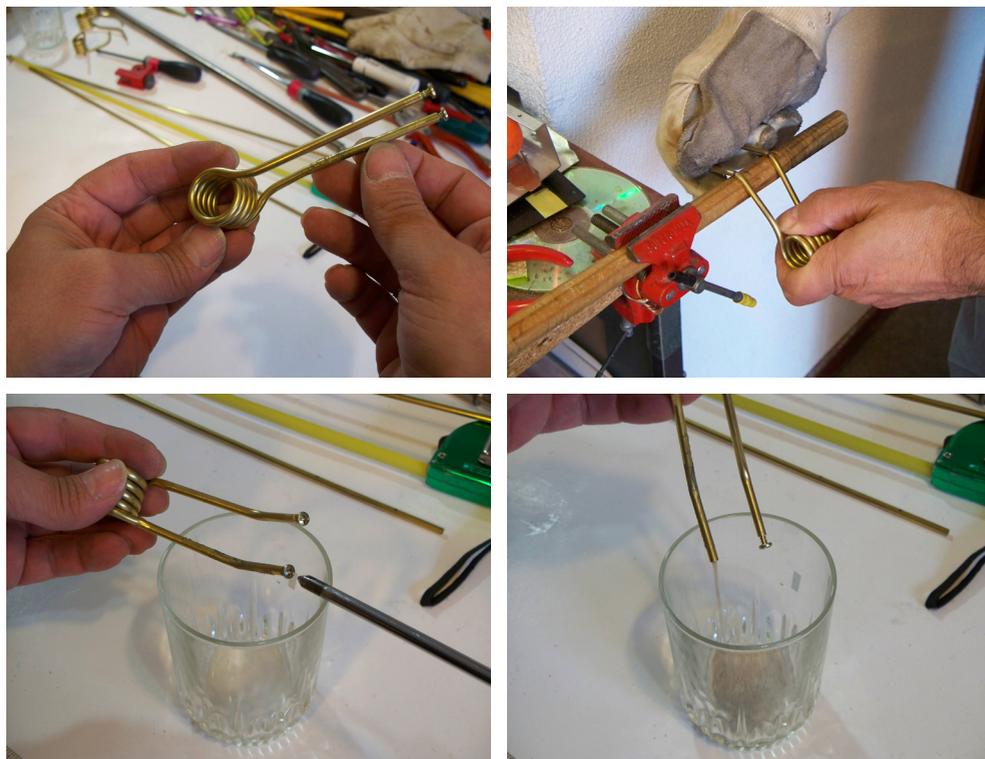


Imagen 9. Extracción de la espiral, preparación de los extremos y vaciado de arena.

La operación siguiente será la de construir un casco capaz de flotar con el peso de la máquina. Esta operación puede servir para repasar el principio de Arquímedes, sobre todo si hemos utilizado un tubo de diámetro grueso.

Debemos tener en cuenta que el casco deberá soportar el peso del tubo lleno de agua más el de la vela o lamparilla de aceite que utilizemos como combustible. Nosotros hemos utilizado una plancha de poliestireno expandido para ese fin. Sobre el trozo de plancha se ha fijado la espiral y se ha añadido la fuente de calor. Dándose así por terminado el barco (**Imagen 11**).

Si queremos conseguir más realismo podemos emplear un casco más sofisticado, incluso tomando como modelo los que surcaban el Misisipi en el siglo XIX.



Imagen 10. Nuestra máquina terminada.



Imagen 11. Fase final de la construcción del barco.

Funcionamiento de la máquina de vapor y producción de los impulsos de agua

Partimos de la situación inicial en la que el tubo de cobre que forma la caldera está lleno de agua. Este punto es esencial para el funcionamiento de la máquina y se consigue inyectando agua a presión por uno de los tubos con una jeringuilla, hasta que salga por el otro.

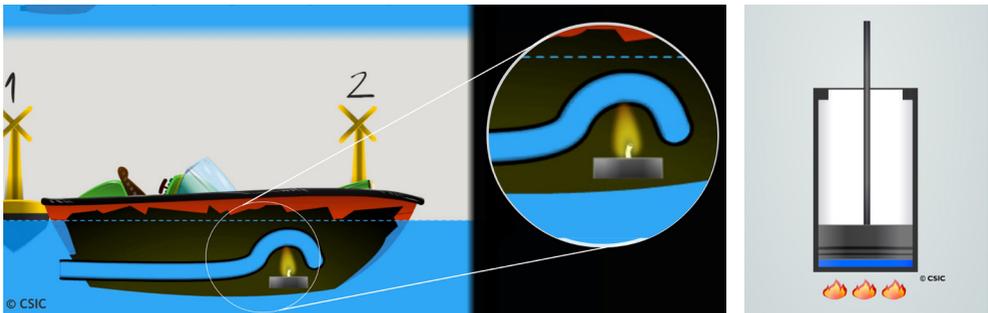


Imagen 12. Funcionamiento del barco y comparativa con la fase inicial de una máquina de Papin.

A partir de esta situación inicial (tubo lleno de agua), que corresponde al punto inicial del primer tiempo del ciclo, aplicamos la llama de la lamparilla al extremo cerrado o curvado del tubo (**Imagen 12**).

El calor de la combustión de la cera se transmite al tubo de cobre y calienta el agua que se encuentra en su interior. Este aporte de calor hace aumentar la temperatura del agua hasta llegar a la temperatura de ebullición (**Imagen 13**).

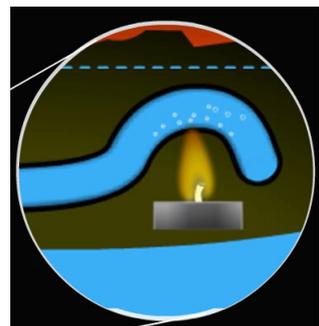


Imagen 13. Inicio de la ebullición.

La ebullición del agua del extremo produce vapor a la presión suficiente como para desplazar al agua líquida, que se ve obligada a salir por la tobera de popa del barco con una cierta velocidad de salida (**Imagen 14**).

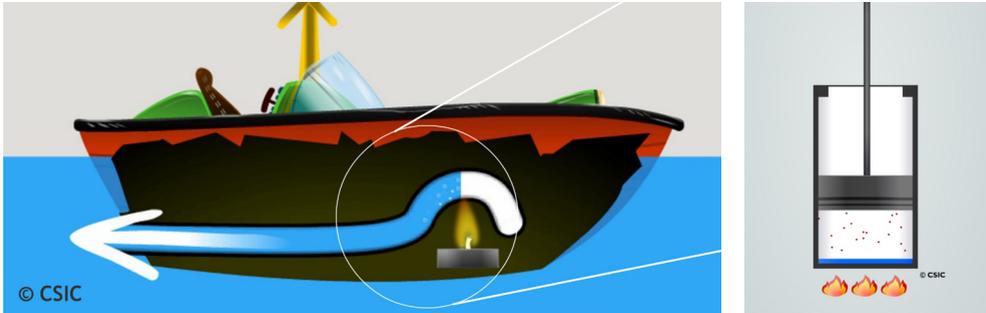


Imagen 14. Inicio del escape del agua por la tobera y comparativa con la fase equivalente de una máquina de Papin.

Esta situación corresponde al final del primer tiempo del ciclo (**Imagen 15**).

Pero al aumentar el volumen ocupado por el vapor a lo largo del tubo, alcanza una región que está a una temperatura inferior a los 100 grados centígrados y que antes estaba ocupada por el agua líquida. Al llegar a esa región fría del tubo el vapor de agua se condensa, volviendo a su estado líquido. El agua del exterior, empujada por la presión atmosférica, llena de nuevo el tubo de cobre (**Imagen 16**).

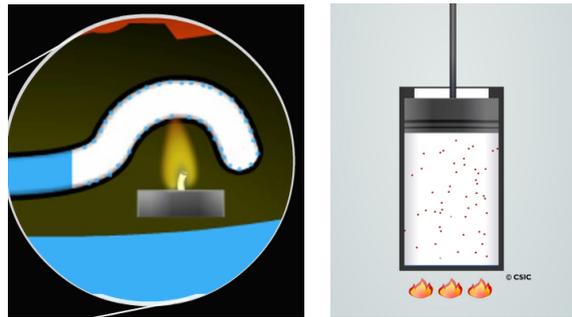


Imagen 15. Comparativa de nuestra máquina y la Papin.

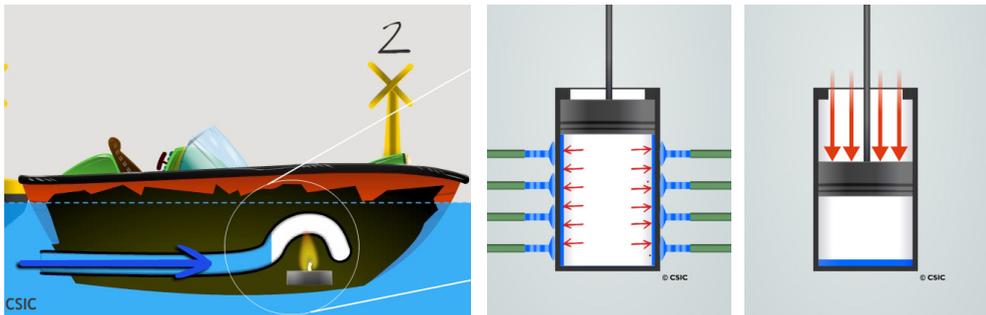


Imagen 16. Tras la condensación el agua llena de nuevo el tubo. Comparativa con la máquina de Papin.

Al condensarse, el volumen del gas se contrae unas mil veces y la superficie del agua dentro del tubo vuelve de nuevo a la situación inicial (**Imagen 12**). En esencia este es el funcionamiento de nuestra máquina.

Estudio de nuestra máquina de vapor

Llegados a este punto podemos volver a observar el funcionamiento de nuestro barco. Podemos preguntar a nuestros alumnos la razón por la que el barco avanza y someter las respuestas a la opinión de la asamblea. Finalmente, para salir de dudas optaremos por poner la mano en la salida de los tubos de cobre con objeto de observar lo que ocurre.

El resultado de la observación pone de manifiesto lo elemental del proceso: los tubos expelen agua de manera pulsante (con una frecuencia de un impulso cada dos o tres segundos aproximadamente) que hace avanzar al barco por *el principio de acción y reacción*. Este es un mecanismo utilizado por muchos animales marinos, entre los que se encuentran los calamares y las medusas (**Imagen 17**).

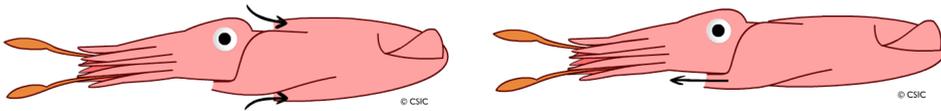


Imagen 17. Ilustración esquemática del mecanismo impulsor de un calamar.

Las leyes de Newton

Esto nos lleva a preguntarnos por las leyes de Newton, que justifican el avance de nuestro barco. Podemos aprovechar la ocasión y recordar las tres leyes, explicando la importancia de las mismas.

Primera ley

La formulación original, tal como aparece en su libro, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, es:

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.

Cuya traducción libre es: «Todo cuerpo abandonado a sí mismo (sobre el que no actúan fuerzas) permanece en el estado de reposo o movimiento en que se encuentra».

Segunda ley

Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressæ, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Cuya traducción libre es: «El resultado de aplicar una fuerza a un cuerpo es el producir una variación de su cantidad de movimiento» (producto de la masa por la velocidad) en la dirección y sentido de la fuerza, es decir,

$$F = m \cdot a$$

Tercera ley

Actioni contrariam semper & æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales & in partes contrarias dirigi.

Cuya traducción puede ser: «A toda acción (fuerza) se opone siempre una reacción igual y en sentido contrario, es decir, las acciones mutuas entre dos cuerpos siempre son iguales, en la misma dirección y en sentido opuesto».

La primera tarea que debemos realizar es la de conseguir que nuestros alumnos se familiaricen con la segunda y tercera ley de Newton, de manera que el camino didáctico cumpla con el requisito de Ausubel (aprendizaje significativo).

Para ello realizaremos el experimento del globo unido a una pajita que se desliza a lo largo de un hilo por un proceso *de acción y reacción* o de *conservación de la cantidad de movimiento*. El proceso es el mismo que el que ocurre en los cohetes que ponen en órbita los satélites o que viajen por el sistema solar (**Imagen 18**).

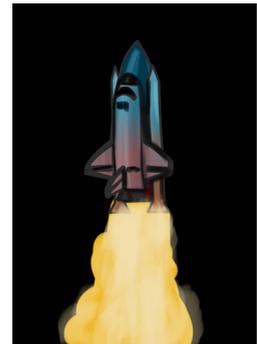
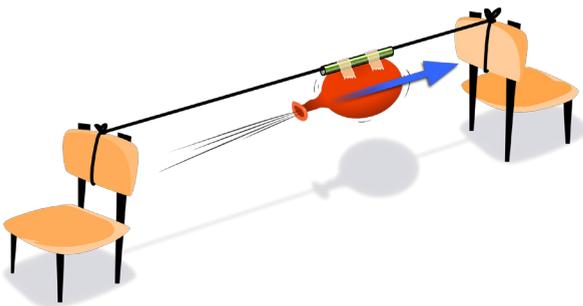


Imagen 18. Ilustraciones: experiencia para el aula con un globo-cohete dirigido y cohete con transbordador.

Podemos realizar diferentes experimentos con artilugios fáciles de construir (**Imagen 19**).

La explicación de lo que ocurre es muy sencilla, pero de enorme importancia, y nos servirá para introducir algunos conceptos que sirven como definición de magnitudes físicas.

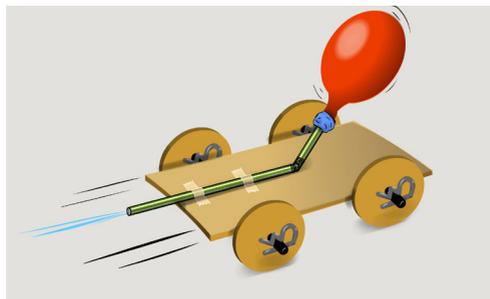


Imagen 19. Experiencia para el aula montaje con ruedas de un cohete-globo.

Definimos *la cantidad de movimiento de un cuerpo como el producto de su*

masa por la velocidad que lleva respecto a nosotros. Así, la cantidad de movimiento de un coche cuya masa es de mil kilogramos y su velocidad 60 kilómetros por hora (16,666 metros por segundo) es de 16.666 kilogramos·metro/segundo. Como es lógico *la cantidad de movimiento es un vector* cuya dirección y sentido coinciden con los del vector velocidad.

Leyes de conservación

El concepto de cantidad de movimiento es muy importante en ciencia, ya que pertenece a un tipo especial de leyes que se llaman *leyes de conservación*. Al nivel de precisión en que nos movemos podemos hablar de la ley de conservación de la masa, intuitiva por los griegos y enunciada por Lavoisier a finales del siglo XIX.

También podemos citar la ley de conservación de la energía, enunciada por Hermann von Helmholtz en 1847, apoyándose en los trabajos de Benjamín Thomson (casado durante poco tiempo con la viuda de Lavoisier), Sadi Carnot y Émile Clapeyron. Como es lógico la ley solo pudo enunciarse tras elaborar el concepto de energía, que en enseñanza se suele mostrar algo escurridizo.

Podemos enunciar con nuestros alumnos multitud de leyes de conservación, basadas en la conservación de los objetos rígidos; así se conservan el número de canicas, de monedas, etc. En cambio, si hacemos bolas de plastilina podemos unir dos bolas pequeñas para formar otra mayor, *no* conservándose en este caso el número de bolas. Un estudio experimental muy simple nos llevará a comprobar que lo que se conserva en este caso es el valor de la masa.

Volviendo a nuestra historia, una de las leyes de conservación más importantes es la de la conservación de la cantidad de movimiento. Todos tenemos un conocimiento intuitivo de esta ley, cuyos resultados hemos visto mil veces en las películas cuando se dispara un cañón (**Imagen 20**) o cuando jugamos con una manguera de agua por la que salga el líquido con una cierta presión.

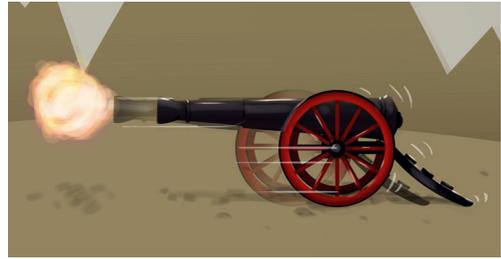


Imagen 20. Ilustración del retroceso al disparar un cañón.

También sabemos todos que el disparo de una escopeta produce un fuerte retroceso del arma, lo que corresponde también al principio de conservación (**Imagen 21**).



Imagen 21. Ilustración del principio de conservación de la cantidad de movimiento en una escopeta.

Podemos realizar un experimento muy sencillo, subidos a un monopatín con un objeto de masa (m), apreciable, por ejemplo una bola de bolera. Cuando estamos en reposo tanto la velocidad (v) del objeto como la del monopatín y la nuestra (que llamaremos M) es nula.

$$(m + M) \cdot v = 0$$

A continuación lanzamos el objeto con la máxima velocidad (v) que podamos comunicarle en dirección paralela al eje del monopatín (**Imagen 22**).



Imagen 22. Experimento para estudiar la conservación de la cantidad de movimiento.

Ya que su cantidad de movimiento antes y después debe ser la misma, es decir, nula respecto al sistema de referencia (en este caso el aula).

$$\text{cantidad de movimiento del objeto} = m_1 \cdot v_1 + M_2 \cdot V_2 = 0$$

Para que la cantidad de movimiento del objeto más la del carrito con nosotros encima siga siendo nula, nosotros y el carrito tendremos que movernos en sentido contrario con una cantidad de movimiento que tenga el mismo módulo:

$$M_2 \cdot V_2 = -m_1 \cdot v_1$$

Es fácil calcular nuestra velocidad de retroceso:

$$V = \frac{m \cdot v}{M}$$

Para fijar ideas sobre el principio de conservación de la cantidad de movimiento podemos construir un cohete de agua (**Imagen 23**). En internet podemos encontrar instrucciones para ello.

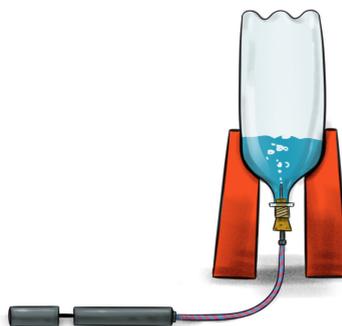


Imagen 23. Ilustración de un cohete de agua.

Conclusiones

Con este trabajo hemos completado las diferentes propuestas para introducir a los docentes en el estudio de la máquina de vapor, que iniciamos en el número seis de esta misma serie. Las experiencias, aportaciones y sugerencias que año tras año nos hacen llegar los maestros adscritos al programa *El CSIC y la FBBVA en la Escuela*, impulsaron esta serie de artículos.

Siempre dependerá del criterio del maestro y de la edad de sus alumnos, la profundidad con la que tratar este tema en su aula, pero creemos que como mínimo deben abordarse, con especial cuidado, los conceptos (a menudo confundidos entre sí) de *calor* y *temperatura* sin los cuales no podemos llegar a los de *trabajo* y *energía*. También debe hacerse especial énfasis en el funcionamiento de la máquina de Papin, y sus variaciones para el aula, por resultar un recurso didáctico de primer orden.

Para finalizar nunca insistiremos lo suficiente en la conveniencia de tratar cualquier tema de ciencia en el aula desde una perspectiva histórica.

Agradecimientos

Esta publicación forma parte de las actividades de comunicación social de la ciencia previstas en el *Proyecto El CSIC y la FBBVA en la Escuela 2013-2015* que cuenta con la financiación de la Fundación BBVA.

Recursos complementarios

Barco de vapor sin partes móviles para el aula. Museo Virtual de la Ciencia (CSIC). Recursos Complementarios. [En línea]: <http://museovirtual.csic.es/recursos/recursos_csic_escuela4.htm>.

Aplicaciones. Ciencia en el Aula. Mecánica: <<http://www.csicenlaescuela.csic.es/proyectos/mecanica/experiencias/eI.htm>>.

Aplicaciones. Ciencia en el Aula. Flotación: <<http://www.csicenlaescuela.csic.es/proyectos/flotacion/experiencias/eI.htm>>.

Impulsión de las medusas. Youtube: <<http://www.youtube.com/watch?v=4o2aEpwUT7s>>.

Cohete de agua. Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cohete_de_agua>.

Cohete de agua. Liceo Web Blog: <<http://liceoweblog.wordpress.com/2011/05/19/>>.

Referencias bibliográficas

MORENO GÓMEZ, E.; GÓMEZ DÍAZ, M. J.; REFOLIO REFOLIO, M.^a C.; LÓPEZ SANCHO, J.M. *Análisis termodinámico de un diseño conceptual de máquina de vapor debida a Papin*. Serie El CSIC en la Escuela. Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula. N.º 10. Editorial CSIC. 2014.

NEWTON, I. *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Cambridge Digital Library. Londres 1687. [En línea]: <<http://cudl.lib.cam.ac.uk/view/PR-ADV-B-00039-00001/9>> [consulta octubre 2013].

Pop pop boat. Wikipedia. [En línea]: <http://en.wikipedia.org/wiki/Pop_pop_boat> [consulta octubre 2013].

Geología para sordociegos: una experiencia multisensorial para la divulgación de la ciencia

Miguel Gomez-Heras*

CEI Campus Moncloa (UPM-UCM, CSIC); ETS Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid – Instituto de Geociencias (CSIC-UCM)

Lorena Gonzalo Parra

Fundación ONCE para la Atención de Personas con Sordoceguera (FOAPS)

Alejandra García-Frank, Graciela N. Sarmiento,

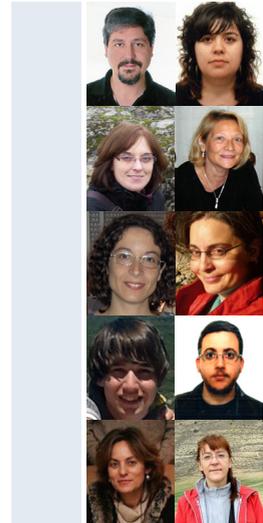
Laura González Acebrón, M.ª Belén Muñoz

García, Rubén García Hernández, Daniel

Hontecillas, M.ª Soledad Ureta Gil y

M.ª Luisa Canales Fernández

Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid



Palabras clave

Discapacidad, sordoceguera, divulgación, geología, cultura científica.

Resumen

Presentamos el desarrollo de un taller multisensorial para la divulgación de contenidos de Geología dirigido a personas con sordoceguera, que son aquellas personas con un deterioro combinado de la vista y el oído que dificulta su acceso a la información, a la comunicación y a la movilidad. El taller incluyó diferentes actividades con diversos grados de sensorialidad y de abstracción de los contenidos. La percepción del taller por parte de los participantes fue muy positiva, destacando su interés, accesibilidad de la información y adaptación de los contenidos. Esta experiencia demuestra el alto potencial que tiene la Geología como base para diseñar actividades de divulgación muy sensoriales que permitan adquirir conceptos abstractos a personas con discapacidades que dificulten la adquisición del lenguaje y para formar parte de currículos de centros educativos que se enfrentan a Alumnos con Necesidades Educativas Especiales (ACNEE).

Introducción

La Organización Mundial de la Salud define discapacidad como «cualquier restricción o impedimento de la capacidad de realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para el ser humano. La discapacidad se carac-

.....
* E-mail del autor: miguel.gomez.heras@gmail.com.

teriza por excesos o insuficiencias en el desempeño de una actividad rutinaria normal, los cuales pueden ser temporales o permanentes, reversibles o surgir como consecuencia directa de la deficiencia o como una respuesta del propio individuo, sobre todo la psicológica, a deficiencias físicas, sensoriales o de otro tipo» (OMS, 1980).

Entre los diferentes tipos de discapacidad podemos encontrar la sordoceguera. Según la Ley 27/2007, de 23 de octubre, por la que se reconocen las lenguas de signos españolas y se regulan los medios de apoyo a la comunicación oral de las personas sordas, con discapacidad auditiva y sordociegas, estas últimas se definen como «aquellas personas con un deterioro combinado de la vista y el oído que dificulta su acceso a la información, a la comunicación y a la movilidad. Esta discapacidad afecta gravemente las habilidades diarias necesarias para una vida mínimamente autónoma, requiere servicios especializados, personal específicamente formado para su atención y métodos especiales de comunicación».

Las características particulares de las personas con sordoceguera vienen determinadas por una serie de variables, como son: la etiología, el tipo y grado de pérdida, el momento de aparición de los déficit sensoriales, el orden en que aparecen, la existencia o no de discapacidades añadidas y el ambiente (Álvarez Reyes, 2004). La combinación de todos estos factores hace que cada persona con sordoceguera presente unas necesidades y unas particularidades únicas, lo que provoca una gran heterogeneidad dentro de este colectivo.

Estas mismas variables determinan el sistema comunicativo que usará cada persona sordociega (que puede incluso ser diferente a nivel expresivo y comprensivo), siendo los más comunes la lengua de signos, la lengua de signos apoyada (es decir, aquella en la que el interlocutor habla en lengua de signos y la persona sordociega apoya su mano sobre las del interlocutor para poder seguir así el discurso), la lengua oral y dactilológico en palma.

Como consecuencia, todas las personas con sordoceguera, en mayor o menor medida (dependiendo de sus características), presentan una serie de dificultades en su vida diaria, relacionadas con: a) la interacción social y establecimiento de las relaciones con los demás, b) la comunicación con otras personas, c) la percepción y el conocimiento del mundo que les rodea, d) el acceso a la información y la cultura, e) la participación en actividades y acceso a sus contenidos, f) la movilidad y los desplazamientos, y g) la autonomía personal.

Por todo ello, el desarrollo global de la persona con sordoceguera se ve afectado. En muchos casos, si la adquisición de la sordoceguera se ha producido en etapas

tempranas de la vida, también aparece una dificultad para la comprensión de conceptos abstractos y alcanzar el estadio de las operaciones formales definido por Piaget (1969).

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se entiende la dificultad para organizar y adaptar actividades para que participen en ellas personas con sordoceguera. Es necesaria, entre otras cuestiones, una buena capacidad de adaptación del divulgador a las características de los individuos ante las que se encuentra. En el caso de la sordoceguera hay que establecer una secuencia de niveles de trabajo, principalmente en al área de la comunicación, que a medida que progresen permitan el desarrollo de la conciencia simbólica de la persona sordociega. Cuanto más variadas sean las interacciones entre esta y las personas, los objetos y las situaciones del entorno, mayor será el aprendizaje. Hay que tener en cuenta que todo trabajo propuesto debe ser individual y específico para cada individuo y hay que lograr que las actividades y elementos que se entreguen sean funcionales; es decir, que los objetos y las acciones se relacionen.

Si bien es relativamente sencillo que las personas sordociegas puedan encontrar actividades de ocio y tiempo libre en las que participar; no es sencillo en absoluto encontrar actividades con contenidos científicos que estén adaptadas a las características de este colectivo. Por esto y como una iniciativa que se asoció al Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente PIMCD n.º 7 (2013) «*Geodivulgar: Geología y Sociedad*» (<http://geodivulgar.blogspot.com.es/>), de la Universidad Complutense de Madrid, se planteó el diseño de un taller multisensorial para la divulgación de contenidos relacionados con las Ciencias de la Tierra entre un grupo de personas sordociegas. Este taller se ha realizado tres veces hasta la fecha de término de este artículo: una, como experiencia piloto con un único asistente, y las dos siguientes con grupos de 4 y 7 personas sordociegas participantes.

Diseño del taller

El objetivo de esta actividad fue la divulgación de una serie de contenidos dentro de la Geología, haciendo especial hincapié en los siguientes temas:

- La composición y el relieve de la Tierra.
- Los minerales y sus propiedades.
- La biodiversidad en el pasado.
- Tiempo geológico y la historia de la Tierra.
- El trabajo del geólogo.

Nuestro objetivo no era solo que manipularan una serie de materiales, sino que los participantes utilizaran el pensamiento lógico y deductivo para llegar a conceptos abstractos relacionados con el material utilizado en el taller.

La actividad se realizó en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid con la participación de personal de distintas universidades y alumnos voluntarios de dicha Facultad y con materiales cedidos por el Departamento de Paleontología. Se contó con la cobertura de la Fundación ONCE para la Atención de Personas con Sordoceguera (FOAPS), que es una Fundación de carácter asistencial creada a instancias de la Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE) y de la Asociación de Sordociegos de España (ASOCIDE).

Uno de los grandes retos a la hora de diseñar esta actividad fue la diversidad que se encuentra dentro del mundo de las personas con sordoceguera, tanto en grado de discapacidad como en capacidades cognitivas y nivel de conceptos previos. El grupo de personas con sordoceguera que realizó las actividades de este taller era un reflejo de esta diversidad. Por un lado, en lo que se refiere al nivel de conceptos previos, a este taller asistieron desde personas sin estudios formales a estudiantes universitarios. Por otro lado, en lo que se refiere al momento de aparición de la discapacidad, acudieron personas sordas congénitas que han adquirido la ceguera con posterioridad y otros que han adquirido la sordoceguera a lo largo de la vida. En cuanto al grado de discapacidad, los asistentes mostraban distintas combinaciones de sordoceguera que oscilaban desde la hipoacusia a la sordera total y desde una visión reducida a resto visual no funcional. También se encontraron una variedad de sistemas de comunicación entre los asistentes a esta actividad: oral, lengua de signos a distancia, lengua de signos apoyada y dactilológico en palma.

Es necesario tener en cuenta esta diversidad en lo que se refiere al grado y casuística de la sordoceguera y a los diferentes sistemas de lenguaje. Para Piaget el desarrollo del pensamiento se realiza a través del lenguaje y, en general, las personas con sordera congénita encuentran mayor dificultad en la comprensión de conceptos abstractos que una persona sin esta discapacidad (Puig Samaniego, 2004). Las personas que se han desarrollado con problemas de visión y audición acusados suelen presentar problemas al utilizar un pensamiento deductivo en sus razonamientos y plantear hipótesis deductivas, entre otros motivos, por la falta de experiencias (Puig Samaniego, 2004). Así, por ejemplo, conceptos a los que una persona oyente puede llegar a través de un razonamiento hipotético-deductivo pueden suponer un problema para una persona sorda. A esto se suma la falta de conocimientos previos de conceptos geológicos que suele reflejar la poca presencia de contenidos relacionados con Geología en los planes de estudio.

Con esta finalidad, los materiales para las actividades relacionadas con este taller se situaron en un orden creciente de abstracción de los contenidos, yendo desde las actividades más táctiles y referentes a contenidos con menor grado de abstracción hasta las actividades sobre conceptos más abstractos. El funcionamiento del taller también se diseñó de tal manera que los contenidos relacionados con cada actividad se pudiesen adaptar de manera individual a cada uno de los participantes, estableciendo grupos en los que los mismos divulgadores estaban siempre con el mismo participante.

El taller se dividió en cinco actividades:

- Manipulación de mapas con relieve.
- Manipulación de rocas y minerales.
- Manipulación de fósiles.
- Experiencia sobre sedimentación y búsqueda de fósiles.
- Escala del tiempo geológico.

Cada una de las personas con sordoceguera estaba acompañada por su mediador y uno o dos educadores/divulgadores que explicaban los contenidos, de tal forma que los educadores se podían adaptar al nivel específico de la persona con la que estaban trabajando.

En la primera actividad se planteó la manipulación de un globo terráqueo y una serie de mapas topográficos en relieve (**Imagen 1**). Se empezó por esta actividad con el fin de tratar ideas con las que todos los participantes se encontrarían familiarizados y con el objetivo de trabajar en el concepto de la forma de la Tierra y transmitir que el relieve y la morfología del terreno están relacionados con las rocas y la estructura de nuestro planeta.

En la segunda actividad se ofreció para su manipulación una colección de rocas, de tal manera que pudiesen distinguir al tacto sus distintas texturas. Para aumentar la estimulación sensorial, las rocas endógenas (formadas en el interior de la tierra) se colocaron previamente en una estufa de secado para que al manipularlas estuviesen calientes y así transmitir la idea de que se formaron a altas temperaturas. Se discutió con cada participante el

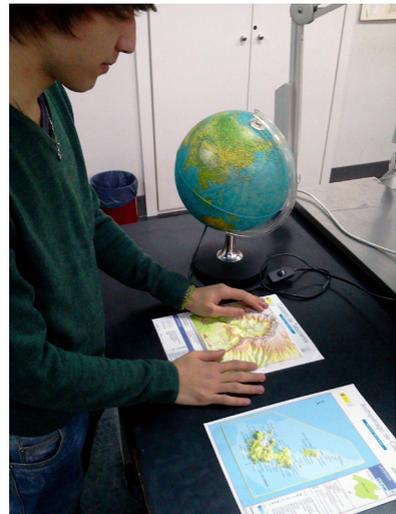


Imagen 1. Manipulación de un globo terráqueo y una serie de mapas topográficos en relieve.

origen de cada roca en función de las características percibidas y del nivel de comprensión de cada uno, introduciendo la idea de que podemos «leer» en las rocas su historia geológica mediante razonamientos deductivos.

Como complemento a la manipulación de rocas se preparó una colección de minerales, intentando que, además de características táctiles, tuviesen propiedades perceptibles por otros sentidos (**Imagen 2**). Esta colección de minerales incluía ejemplares bien cristalizados

con hábitos muy reconocibles, como la pirita o la calcita en su variedad de espato de Islandia.

También se incluyeron minerales muy densos

como la galena o la estibina para ser manipulados junto con minerales muy ligeros como el talco o la sepiolita. El talco se incluyó también por

su tacto grasoso y la sepiolita como ejemplo de mineral «absorbente» y se invitó a los participantes que la tocasen con la punta de su lengua para que sintiesen como esta se quedaba pegada.

También se incluyeron minerales con sabor, como por ejemplo la halita o la silvina, y se incluyeron muestras de carbones ricos en azufre para que pudiesen olerlos.



Imagen 2. Algunos de los minerales utilizados en la experiencia.

La actividad de manipulación de fósiles (**Imagen 3**) fue a la que se le dio una mayor importancia cuantitativa, pues se consideró que la riqueza de formas que presentan los fósiles y las posibles analogías que los participantes pudieran realizar con organismos conocidos suponía una posibilidad muy grande de estimulación adaptable a casi cualquier nivel de ideas previas que los participantes pudiesen tener. Se utilizaron tanto fósiles originales como réplicas. Se hizo hincapié en la génesis de los fósiles, es decir, qué información nos aportan sobre los medios en los que dichos organismos vivieron. Además, fósiles

La actividad de manipulación de fósiles (**Imagen 3**) fue a la que se le dio una mayor importancia cuantitativa, pues se consideró que la riqueza de formas que presentan los fósiles y las posibles analogías que los participantes pudieran realizar con organismos conocidos suponía una posibilidad muy grande de estimulación adaptable a casi cualquier nivel de ideas previas que los participantes pudiesen tener. Se utilizaron tanto fósiles originales como réplicas. Se hizo hincapié en la génesis de los fósiles, es decir, qué información nos aportan sobre los medios en los que dichos organismos vivieron. Además, fósiles



Imagen 3. Actividad de manipulación de fósiles.

Se hizo hincapié en la génesis de los fósiles, es decir, qué información nos aportan sobre los medios en los que dichos organismos vivieron. Además, fósiles

como los de dinosaurios, se relacionan con un aspecto en el que los participantes suelen tener algún conocimiento previo y que por tanto puede servir de enlace para la comunicación de otros contenidos.

Como complemento a la manipulación de fósiles y a la explicación sobre las rocas sedimentarias se realizó una experiencia en la cual, después de explicar qué es la sedimentación y cómo el enterramiento es un primer paso para que se produzca el proceso de fosilización, los asistentes situaban su mano en una cubeta con agua en cuyo fondo había arena y algunas conchas. Así, después de manipular las conchas y el «sedimento», se invitaba a que los participantes dejaran la mano sobre el fondo mientras se echaba arena poco a poco encima de su mano. Así mismo, se prepararon una serie de bandejas con arena en la que se habían enterrado algunos fósiles para que los localizaran mediante el tacto. Sobre estas bandejas se realizó una cuadrícula con cordel, simulando una zona real de excavación paleontológica (**Imagen 4**) de tal manera que los participantes pudieran comprender el procedimiento empleado en las excavaciones para mostrar la posición de los fósiles, desarrollando así capacidades espaciales.

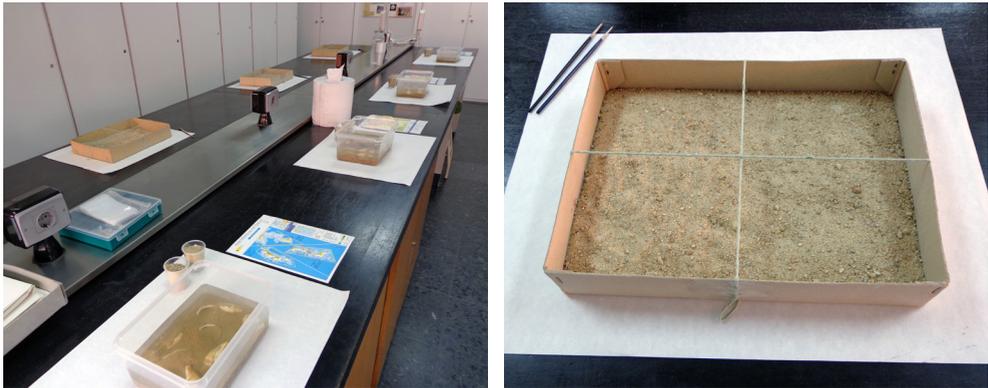


Imagen 4. Cubetas con «sedimento» y detalle de bandeja con cuadratura de cordel.

En la última actividad del taller se consideró que la longitud total del pasillo del Departamento de Paleontología de la UCM en el que se realizó el taller (73 metros aproximadamente) era toda la historia de la Tierra y se dividió en tramos señalando una serie de hitos relevantes a lo largo de esta historia: rocas más antiguas encontradas, aparición de la vida, principio del Paleozoico, Mesozoico, Cenozoico, etc. Estos marcadores se relacionaron con conceptos como la aparición de animales con esqueleto, la aparición y extinción de los dinosaurios, la aparición de los primeros homínidos, etc. La longitud de cada uno de estos tramos era proporcional a su duración en el tiempo geológico y cada hito estaba marcado por un elemen-

to táctil en el suelo (tiras de plástico de burbujas) y una cinta que cruzaba el pasillo con la que los participantes se encontraban al ir andando (**Imagen 5**).

Cada grupo de educadores, mediador y participante comenzaban a andar desde una punta a otra del pasillo cruzando cada uno de estos hitos y recibiendo una explicación del mismo para así relacionar la longitud de la marcha con cada uno de los periodos y el tiempo transcurrido. Al final de este paseo, se le entregaba a cada participante una cinta con una longitud proporcional a la duración de la presencia de los homínidos en la tierra según esta escala (una cinta de unos 7 cm) para que así tuviesen una idea táctil de lo que supone esta duración en relación a la distancia recorrida como parte de la actividad.



Imagen 5. Detalle de la actividad «Escala del tiempo geológico».

Resultados de la experiencia: fortalezas y debilidades

La percepción del taller por parte de los participantes fue, en general, muy positiva. Se realizaron unos cuestionarios y entrevistas en donde los participantes destacaron el taller por la posibilidad que les daba de acercarse al mundo que les rodea con las manos y por el interés de los contenidos recibidos. Los participantes señalaron la experiencia como una actividad interesante y didáctica, con buena accesibilidad de la información y una muy buena adaptación de los contenidos, así como aspectos que les llamaron especialmente la atención como, por ejemplo, el concepto de evolución.

Más allá de los conocimientos adquiridos, esta actividad tuvo como aspectos positivos: el acercamiento y el conocimiento de la universidad por parte de algunas personas que no habrían tenido la posibilidad de hacerlo de otra manera, la relación con personas ajenas a su entorno social, la posibilidad de participar en una actividad científica, la oportunidad de aprender y tener un interlocutor capaz de responder a sus preguntas, la satisfacción por haber realizado una actividad que no sea

exclusivamente de ocio y el haber podido conocer y trabajar con un material al que habitualmente no se puede acceder (cuando se acude a un museo, normalmente las piezas están en vitrinas y no se pueden tocar).

Este taller muestra que la Geología tiene la ventaja de prestarse al diseño de actividades muy sensoriales que permiten llegar a comprender contenidos abstractos, que es uno de los principales retos para las personas con discapacidades que dificulten la adquisición del lenguaje. Sin embargo, el hecho de que la Geología no sea una de las ciencias más conocidas (en parte, por los pocos contenidos relacionados que se imparten en la educación obligatoria), supone que, tanto los mediadores como algunos participantes tuvieran una falta de conocimientos previos, lo que implica un mayor esfuerzo de adaptación por parte de los divulgadores para que la persona con sordoceguera entendiese los conceptos y las explicaciones. Se intentaron evitar palabras técnicas que fuese necesario deletrear, introduciéndose solo aquellas que resultaban imprescindibles. A pesar de estas limitaciones, en esta actividad se logró adaptar conceptos abstractos de una forma muy concreta, lo que permitió que los participantes con sordoceguera entendiesen diferentes cuestiones relacionadas con la Geología y la Paleontología.

Este tipo de taller conlleva un trabajo de preparación previo, una abundancia de materiales (especialmente los fósiles, minerales y rocas) y gran cantidad de personal cualificado (en este caso cada participante iba acompañado por dos divulgadores y una mediadora) que se ajuste al ritmo y las necesidades de cada persona con sordoceguera, por lo que su realización está ciertamente limitada a un contexto muy específico. Sin embargo, no todas las actividades del taller requieren de grandes medios materiales e incluso las que requieren más materiales se pueden adecuar a colecciones de minerales, rocas o fósiles disponibles en centros educativos de secundaria y bachillerato. No obstante, es importante que desde la universidad se organicen este tipo de actividades adaptadas, debido a la mayor disponibilidad de recursos materiales y humanos.

Uno de los principales problemas de esta actividad es su realización como un taller único y en cierto modo descontextualizado. Si el objetivo principal es la adquisición de conocimientos, esta actividad se debería incluir en un plan educativo más amplio. Así, en sesiones previas se pueden explorar los preconceptos de los participantes y trabajar sobre los conceptos que se van a tratar en el taller. Estos conceptos, en especial los más abstractos, se deben afianzar en sesiones posteriores. Consideramos que resultaría muy positiva la realización posterior de una salida de campo, en la que las personas sordociegas tuvieran acceso a las rocas y fósiles en

su contexto natural. Prueba de la necesidad de un trabajo posterior es que algunas encuestas demostraron que algunos participantes habían adquirido algunos conceptos de manera errónea.

Conclusiones

Una primera conclusión, más allá de los contenidos específicos de este taller multisensorial, es que pone de manifiesto la necesidad que existe de facilitar a las personas con sordoceguera contenidos científicos a los que de otra manera les sería imposible acceder. Esta accesibilidad incluye diversas cuestiones como son su adaptación directa a las necesidades sensoriales y niveles de abstracción de cada individuo sordociego particular, así como la flexibilidad en el horario en que se realice que permita a la persona sordociega acudir con un mediador o guía-intérprete.

Además, esta es una experiencia muy enriquecedora para el personal universitario y de centros de investigación, ya que permite poner en contacto a los profesionales de la ciencia con colectivos a los que tradicionalmente se ha colocado al margen de los conocimientos científicos.

Esta experiencia demuestra el alto potencial que tienen los contenidos de Geología para ser mostrados a través de actividades de divulgación muy sensoriales que permitan adquirir conceptos abstractos a personas con discapacidades que dificulten la adquisición del lenguaje.

Aunque, esta actividad se puede considerar muy positiva simplemente como experiencia social y sensorial, para optimizar su valor como experiencia de divulgación sería necesario que se acompañase de sesiones de preparación previa y sesiones posteriores de afianzamiento de los contenidos. Aunque en este caso concreto el taller se realizó como una actividad de divulgación encuadrada dentro del ámbito de la educación no formal, sería interesante que se pudiera incluir dentro de un plan de formación más amplio en currículos de Centros de Educación Especial, así como parte de adaptaciones para alumnos con necesidades educativas especiales en todos los centros educativos.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Departamento de Paleontología de la Universidad Complutense por la utilización de su espacio y colecciones. A los guías-intérpretes de ASOCIDE y el equipo de mediadoras de FOAPS: Almudena Espinosa, Dolores

Fraile, Elvira Rodrigo, Juana Álvarez y Simón da Dalt. También a Patricia Fernández de Lis, Teresa Alameda y el equipo de «esmateria.com», así como a Pilar Torres, Fernando Sanz y el equipo de «En lengua de signos» por la difusión dada a estas iniciativas.

Referencias bibliográficas

ÁLVAREZ REYES, D. «La sordoceguera. Una discapacidad singular». En: Gómez Viñas, P., Romero Rey, E. (coords.) *La sordoceguera. Un análisis multidisciplinar*. Madrid, Colección Estudios, Organización Nacional de Ciegos Españoles, Unidad Técnica de Sordoceguera. 2004. 710 pp.

Ley 27/2007, de 23 de octubre, por la que se reconocen las lenguas de signos españolas y se regulan los medios de apoyo a la comunicación oral de las personas sordas, con discapacidad auditiva y sordociegas. Boletín Oficial del Estado, 24 octubre 2007, n.º 255, pp. 43251-43259. 2007.

OMS. Clasificación Internacional del Funcionamiento, las Discapacidades y la Salud (CIDDM). Ginebra, OMS. 1980.

PIAGET, J. *El nacimiento de la inteligencia en el niño*. Madrid. Aguilar. 1969. 314 pp.

PUIG SAMANIEGO, M.V. «Implicaciones de la sordoceguera en el desarrollo global de la persona». En: P. Gómez Viñas y E. Romero Rey (coords.), *La sordoceguera. Un análisis multidisciplinar*. Madrid, Colección Estudios, Organización Nacional de Ciegos Españoles, Unidad Técnica de Sordoceguera. 2004.

Divulgación de la Geología: nuevas estrategias educativas para alumnos con necesidades educativas especiales por discapacidad intelectual

Alejandra García-Frank*

Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid

Rosa Pérez Barroso, Belén Espín Forjan, Piedad Benito Manjón, Leticia de Pablo Gutiérrez

Centro de Educación Especial María Corredentora. Madrid

Miguel Gómez-Heras

CEI Campus Moncloa (UPM-UCM, CSIC); ETS Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid – Instituto de Geociencias (CSIC-UCM)

Graciela N. Sarmiento, M.^a Luisa Canales Fernández, Laura González Acebrón, M.^a Belén Muñoz García, Rubén García Hernández, Daniel Hontecillas, M.^a Soledad Ureta Gil

Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid

Begoña del Moral

Instituto Geológico y Minero de España. Madrid



Palabras clave

Geología, divulgación, ACNEE, síndrome de down.

Resumen

El conocimiento de la Geología fomenta valores de respeto hacia el planeta y hacia el medio ambiente que nos rodea, y debe ser accesible a toda la sociedad. Además, es esencial para la obtención de competencias en el conocimiento y la interacción con el mundo físico, y se relaciona con elementos de manipulación y relación que pueden ser muy útiles para mejorar la experiencia educativa general de Alumnos con Necesidades Educativas Especiales (ACNEE). Debido a que la repetición es una estrategia de fijación de contenidos especialmente útil para mejorar el aprendizaje en ACNEE, se ha tenido en cuenta que las actividades programadas para desarrollar fuera del centro educativo estuviesen aliñadas con una serie de sesiones preparatorias que complementasen los contenidos transmitidos en el centro. Estas experiencias han resultado muy satisfactorias, tanto para la asimilación de nuevos conocimientos relacionados con la Geología, la Ciencia y el Medio Ambiente, como a nivel social, reforzando la adaptación a contextos sociales amplios de los ACNEE.

* E-mail de la autora: agfrank@geo.ucm.es.

Introducción

El acceso a la Ciencia es un derecho fundamental recogido desde 1966 en la Carta Internacional de los Derechos Humanos, concretamente en el artículo 15 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales que cuenta con la firma de 160 países y reivindica «El derecho de toda persona a gozar de los beneficios del progreso científico y de sus aplicaciones» (ICESCR, 1966). Sin embargo, como indican Chapman y Wyndham (2013) el acceso a la Ciencia y a sus beneficios es uno de los derechos humanos más ignorados.

Si tenemos en cuenta a los colectivos de alumnos con necesidades educativas especiales (ACNEE), este acercamiento es prácticamente inexistente. De hecho en La Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (CDPD), que pretende «promover, proteger y asegurar el goce pleno y en condiciones de igualdad de todos los derechos humanos y libertades fundamentales por todas las personas con discapacidad, y promover el respeto de su dignidad inherente» (ONU, 2006) no aparece el término Ciencia en ninguno de sus artículos, aunque la Convención se concibió como un instrumento de derechos humanos con una dimensión explícita de desarrollo social. En España, la Convención se ratificó en 2008 (BOE, 2008). En ella se adopta una amplia clasificación de las personas con discapacidad y se reafirma que ellas, con cualquier tipo de discapacidad, deben poder gozar de todos los derechos humanos y libertades fundamentales.

Con la idea de promover la Ciencia en todo tipo de colectivos surge «Geodivulgar» (<http://geodivulgar.blogspot.com.es/>), un proyecto que a través de su lema «Geología para todos», incluye acciones participativas e innovadoras de divulgación de la Geología y de conservación de la naturaleza abiótica especialmente orientadas a ACNEE; en el caso de este trabajo en concreto, al colectivo con discapacidad intelectual, integrado por los alumnos del Centro de Educación Especial María Corredentora.

La Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF), adoptada como marco conceptual para el Informe mundial sobre la discapacidad (OMS y GBM, 2011), define la discapacidad como un término genérico que engloba deficiencias, limitaciones de actividad y restricciones para la participación.

Según la Confederación Española de Organizaciones en favor de las Personas con Discapacidad Intelectual, FEAPS, la definición de discapacidad intelectual tomada de la American Association on Intellectual and Developmental Disabilities (AAIDD;

Schalock *et al.* 2007) expone que: «Es una discapacidad caracterizada por limitaciones significativas en el funcionamiento intelectual y en la conducta adaptativa que se manifiesta en habilidades adaptativas conceptuales, sociales, y prácticas».

Esto quiere decir que la persona con discapacidad intelectual va a presentar dificultades en la adquisición de capacidades o destrezas que desarrollará de acuerdo a su edad cronológica para adaptarse a su ambiente social: «La discapacidad intelectual no es una enfermedad. Por tanto, no es algo que ‘se cure’. La discapacidad intelectual se refiere a una limitación importante en el funcionamiento de la persona, no a la limitación de la persona. La discapacidad intelectual además no es algo estático, pues con los apoyos adecuados una persona con discapacidad intelectual mejorará en su funcionamiento y su ajuste al contexto social, físico y cultural en que vive» (FEAPS).

La discapacidad intelectual es una realidad en nuestra sociedad actual. Como cualquiera de nosotros, son personas con necesidades, actitudes, capacidades y gustos particulares y precisan diferentes apoyos en la medida de sus capacidades. El acceso de las personas con discapacidad intelectual al contenido científico dependerá de que el contexto brinde experiencias y oportunidades que les acerquen a dicho contenido.

La experiencia descrita en este trabajo persigue unir divulgación e integración incluyendo una doble vertiente: a) por un lado, el reto por parte del grupo Geodivulgar de transmitir nociones de Geología a todos los colectivos, concretamente, su aplicación en la vida cotidiana del colectivo de personas con discapacidad intelectual, al que se suele dejar al margen de este tipo de experiencias; y b) desde el Centro Educativo María Corredentora siempre se ha fomentado la participación real de las personas con discapacidad en la sociedad, con el fin de hacerlas más visibles y generar oportunidades reales de integración en distintos entornos. Por ello, se ha ideado esta experiencia que combina el alumnado y el personal de los centros participantes, concretamente el Centro de Educación Especial María Corredentora (Madrid), Facultad de Ciencias Geológicas UCM y otras instituciones colaboradoras.

Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es fomentar la participación de nuevos públicos habitualmente distanciados de los entornos científicos mediante la inclusión de ACNEE con discapacidad intelectual (mayoritariamente con síndrome de down) en experiencias divulgativas, a través de su participación en actividades de campo que

les permitan tomar contacto con los materiales de la Tierra. Esta acción está dirigida a un sector de la población que por sus peculiaridades no suele acceder a los estudios superiores, pero que puede participar del conocimiento a través del diseño de recursos didácticos especiales que contemplen sus posibilidades de aprendizaje. Este objetivo principal también implica la realización de una actividad de integración que refuerza la concienciación social al incluir todo tipo de colectivos en las tareas de divulgación. La inclusión en actividades educativas mixtas (circunscribiendo personas con discapacidad intelectual y otras sin este tipo de discapacidad) resulta beneficiosa tanto para el alumno ACNEE, puesto que facilita su tránsito a la vida adulta, como al resto del alumnado y a los profesionales de la enseñanza con la adquisición de valores de tolerancia y fomento de la diversificación en la actividad educativa. Además, los ACNEE con discapacidad intelectual reciben, procesan y organizan la información con dificultad y lentitud, lo que ralentiza el aprendizaje, pero una actividad manipulativa y multisensorial puede mejorar este proceso. Por último, otro de los objetivos de esta actividad es su difusión en foros adecuados.

Metodología

El equipo multidisciplinar que ha ideado, planificado y desarrollado estas actividades involucra a todos los colectivos de la Facultad de Ciencias Geológicas de la UCM (profesores, personal técnico y estudiantes de grado y máster), a investigadores y a profesionales de otras instituciones (UPM, CSIC e IGME), así como a profesores y estudiantes del Centro de Educación Especial María Corredentora (Madrid).

Las actividades del curso 2012-2013 se han desarrollado con 24 alumnos de entre 18 y 22 años incluidos en el Programa de Cualificación Profesional Inicial (PCPI) del centro anteriormente citado, que persigue conseguir la máxima integración en un contexto social amplio y un alto grado de autonomía por parte de los alumnos.

Las acciones del proyecto Geodivulgar se han adaptado a la filosofía educativa del Centro María Corredentora, con el desarrollo de actividades educativas integradoras, adaptadas a la edad cognitiva de los alumnos, que les prepare para una mejor integración y participación en su entorno de vida. Se ha procurado que tanto los aprendizajes como las habilidades y destrezas que se adquieran sean funcionales y significativos, llevándolas a la práctica en situaciones reales; lo que permite una mayor participación en la vida social y laboral.

En relación con la transferencia de conocimientos, se han introducido conceptos científicos de forma novedosa en el ámbito de la educación especial formal, que no solo contribuyen a concienciar sobre la necesidad de conservación de la na-

turaliza abiótica, sino que además despiertan interés tanto en profesores como en alumnos sobre la Ciencia en general y la Geología en particular. En este sentido, el aprendizaje de conceptos relacionados con la Geología es esencial para la obtención de competencias en el conocimiento y la interacción con el mundo físico en el que se desenvuelven los alumnos en su vida cotidiana. Las herramientas de apoyo para realizar todas las actividades han sido de tipo visual, manipulativas y motivacionales (como, por ejemplo, la interacción con los alumnos de la universidad).

La metodología de trabajo ha incluido reuniones de coordinación de una frecuencia quincenal entre los docentes universitarios y los del Centro Educativo María Corredentora para puntualizar los aspectos y los objetivos de la experiencia. Esto permitió el desarrollo de una guía docente con los conocimientos teóricos y pedagógicos fundamentales por medio de distintos materiales personalizados: libros, actividades, etc., adaptados a las características y necesidades del alumnado ACNEE. Durante el desarrollo del curso académico, los docentes del Centro María Corredentora trabajaron en el aula en los distintos contenidos acordados.

Actividades realizadas

Como se ha indicado, la estrecha colaboración con el equipo académico del Centro María Corredentora ha permitido la elaboración de guías docentes que contienen por primera vez, en el contexto de la educación especial, conceptos ligados a las ciencias geológicas, y que se han incluido en el currículum, relacionándolos con otros conceptos de las Ciencias de la Tierra como por ejemplo Geografía física o usos del agua. Para reforzar el contenido curricular se han realizado en cada uno de los semestres del curso 2012-13 dos tipos de actividades conjuntas entre ambos colectivos, que han consistido en una parte práctica previa en el Centro María Corredentora y una actividad principal fuera de las aulas de este centro.

Secuenciación de actividades realizadas

En el primer semestre, en las aulas del colegio se trabajaron los conceptos del tiempo geológico, la estratificación y los fósiles, para posteriormente asentar los conocimientos mediante talleres prácticos en la universidad, mientras que en el segundo semestre se estudió el ciclo del agua y los usos de las rocas como materiales de construcción.

Las actividades prácticas fuera del centro educativo han consistido en un taller sobre la historia de la Tierra y de la vida en el primer semestre, que tuvo lugar en la Facultad de Ciencias Geológicas, y en una excursión didáctica a la sierra norte de Madrid en el segundo semestre. En ambos casos, se integró a ACNEE con estudiantes universitarios y el resto del personal del proyecto.

Primer semestre: actividades en las aulas

Para entender el concepto de tiempo geológico se trabajó con una serie de paneles, con la reconstrucción paleogeográfica de la Tierra «infantil» (con chupete), «juvenil» (con gorra) y «mayor» (con corbata) y se reprodujeron videos divulgativos sobre el ámbar y las rocas

(Imagen 1). Los alumnos pudieron manipular una serie de fósiles reales, seleccionados a tal efecto, y se repartió un cuadernillo con dibujos de esos mismos fósiles explicando si eran marinos o terrestres y en qué momento de la historia de la Tierra existieron.

Estos conceptos ayudaron a potenciar el pensamiento lógico, así como capacidades de abstracción relacionadas con el paso del tiempo y el origen de las cosas que vemos (por ejemplo, ¿cómo se han formado las rocas?). Se requirieron varias sesiones de trabajo, ya que es importante que las actividades sean cortas para lograr la asimilación de conceptos sin cansar a los estudiantes.



Imagen 1. Materiales para actividades previas: reconstrucción paleogeográfica de la Tierra y videos divulgativos.

Primer semestre: actividad práctica

Esta actividad duró toda una mañana, incluyendo el desplazamiento en transporte público desde su centro a la Universidad. Los alumnos trabajaron con unos paneles preparados al efecto, donde debían colocar los recortables de los fósiles de

cada periodo, organizados por edades y ambientes. También utilizaron los materiales didácticos preparados para simular una excavación paleontológica o entender el concepto de estratificación (**Imagen 2**). En este caso el objetivo general era desarrollar capacidades tanto espaciales como temporales e introducir la idea de clasificación.



Imagen 2. Actividad práctica en la Facultad de Ciencias Geológicas (UCM): materiales didácticos preparados para: entender el concepto de estratificación, simular una excavación paleontológica o hacer una reconstrucción paleoambiental.

Segundo semestre: actividades en las aulas

Entre las actividades previas que se realizaron en el centro se dedicó una sesión a la preparación de la salida de campo durante toda una mañana con cada curso. En cada una de ellas se trabajó el itinerario con las diferentes paradas a realizar y el material que debíamos llevar, con la ayuda de una presentación con diapositivas como hilo conductor. Se desarrollaron actividades multisensoriales para una mejor comprensión del ciclo del agua. Una de ellas fue la realización de un embalse con plastilina. Esta construcción requirió tratar términos con los que no estaban acostumbrados como «maqueta» (término que implica una abstracción espacial), «embalse» o «presa» (**Imagen 3**). La manipulación de la plastilina entre todos permitió la construcción de las montañas circundantes, el río y, por último, el cierre de la presa, para que vieran secuencialmente cómo opera en la naturaleza.

Para reforzar este aprendizaje se procedió a continuación a la representación teatral de estos elementos, con un río formado por un grupo de alumnos, que queda detenido por la presa de un



Imagen 3. Realización de modelos con plastilina en las aulas del Centro María Corredontora.

embalse, formada por otro conjunto de estudiantes (**Imagen 4**). Así visualizaron el discurrir del agua hasta llegar al muro de la presa y lo que ocurre si la presa se abre o está cerrada.



Imagen 4. Recreación de un río que queda detenido por la pared de un embalse, representada por un grupo de alumnos en las aulas del Centro María Corredentora.

Por último, se estudió el recorrido de la salida de campo. Se trabajó con los estudiantes la ubicación espacial de las paradas en el contexto de la sierra norte de Madrid, la distancia a la que se viajaría y la conveniencia de que ellos de forma autónoma consultaran el día anterior de la salida el pronóstico meteorológico de la zona para llevar la ropa adecuada. El objetivo fundamental de esta actividad era conseguir actitudes de planificación en los alumnos así como introducir algunos conceptos para el mejor aprovechamiento de la salida.

Segundo semestre: actividad práctica

Una parte importante de los contenidos que se trabajaron en la salida incluía el uso de los materiales geológicos. Por ello se preparó previamente una ficha para cada alumno con pequeños fragmen-



Imagen 5. Salida de campo a la Sierra Norte de Madrid: **A)** ficha personal con fragmentos de tres tipos de rocas; **B)** visita al Museo del Agua y a la zona musealizada de la Cantería en el Berrueco; **C)** panorámica del Embalse del Atazar, usos del agua; **D)** observación de las rocas cercanas a la presa del Pontón de la Oliva.

tos de tres tipos de rocas (granito, pizarra y caliza), con el fin de que identificaran en cada parada el tipo de roca correspondiente (**Imagen 5A**), favoreciendo el uso de herramientas de observación, comparación y clasificación.

La actividad extraescolar en el campo transcurrió durante un día completo e incluyó tres paradas: una visita a la zona musealizada de la Cantería en el Berrueco, donde se vieron diferentes objetos tradicionales realizados con granito, y una visita al Museo del Agua en la misma localidad (**Imagen 5B**). Otra parada en el Embalse del Atazar, donde trabajaron con sus fichas de tipos de rocas y pudieron percibir las dimensiones de un embalse y el uso racional que se debe hacer del agua (**Imagen 5C**). La última parada se realizó en el Pontón de la Oliva, donde además de observar una presa de cerca y las rocas calcáreas de la zona, comimos todos juntos (**Imagen 5D**).

Resultados

La percepción de la experiencia por parte de todos los participantes (estudiantes y docentes) ha sido considerada muy positiva en términos cualitativos. En especial, el equipo docente ha constatado que es posible contactar o conectar con los ACNEE en el plano intelectual y los ACNEE han logrado tomar contacto directo (visual y táctil) con los materiales de la Tierra. Estos últimos ofrecen la oportunidad de estimular la imaginación, desarrollar o potenciar la idea de conservación y generar expectativas de nuevos conocimientos.

Otro aspecto que hay que destacar es que no se trata de una actividad anecdótica, sino que tiene continuidad temporal al estar incluida en la programación formal del Centro María Corredentora. Así, gracias a la evaluación durante todo el curso, se ha podido modificar los contenidos adaptándolos a las necesidades reales. Las actividades evaluadoras de la experiencia han seguido una triple vertiente:

- Durante la fase de planificación se ha realizado una evaluación diagnóstica (posibilidades de aprendizaje o de ejecución de las tareas) en la que se han adaptado los contenidos científicos a cada uno de los niveles de PCPI del centro.
- En el transcurso de las actividades se ha realizado una evaluación formativa (averiguar si los objetivos de la enseñanza están siendo alcanzados o no, y lo que es preciso realizar para mejorar), mediante exámenes de los contenidos de la asignatura Ciencias Sociales contemplados en el Centro María Corredentora. Estos han sido resultados cuantitativos, ya que implicaban una nota en el expediente del estudiante.

- Por último, desde las primeras actividades hasta la actualidad, la evaluación sumativa designa la forma mediante la cual se mide y juzga el aprendizaje con el fin de certificarlo y también cuantificarlo por los docentes del Centro María Corredentora.

Se han constatado una serie de beneficios en los alumnos ACNEE, fruto de las actividades de integración de ambos colectivos. Así, los resultados de la experiencia pueden incluirse en tres apartados:

Durante las actividades previas en el Centro Educativo María Corredentora, en las que se profundizó en los aspectos necesarios para la realización de las actividades prácticas caben destacar los siguientes logros:

- Elevado grado de participación, tanto individual como grupal.
- Progresión en la capacidad de planificación de actividades.
- Mejora en la comprensión de conceptos abstractos (espaciales y temporales).

Durante la primera actividad práctica (toma de contacto de los alumnos del Centro Educativo María Corredentora con la Facultad de Ciencias Geológicas), donde las distintas actividades teórico-prácticas les permitieron conocer el entorno universitario y relacionarse con estudiantes de la UCM así como con el profesorado voluntario, cabe destacar los siguientes logros:

- Progresión en la capacidad de autonomía personal.
- Integración significativa de los alumnos con los espacios y colectivos universitarios.

Por último, en la segunda actividad práctica (visita a la sierra de Madrid que incluyó paradas en el Berrueco y su Museo del Agua, la presa del Atazar y el Pontón de la Oliva), cabe destacar los siguientes logros:

- Potenciación de la capacidad de percepción espacial, de herramientas de comparación y de clasificación, despertando el interés por el medio ambiente que los rodea.
- Concienciación del uso sostenible de los recursos naturales (materiales geológicos y agua) vivenciándose los contenidos teóricos trabajados previamente.
- Integración significativa de los alumnos con los espacios y colectivos universitarios ya que al compartir el día completo con estudiantes universitarios de su edad, se sintieron universitarios (como sus hermanos que van a la universidad).

Como primera acción de difusión de los resultados de la experiencia se presentó en septiembre de 2013 una comunicación oral en las jornadas de la XX Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural (García-Frank *et al.* 2013).

Consideraciones finales

Consideramos que la Geología permite desarrollar capacidades espaciales y de abstracción, que son competencias que se intentan potenciar desde niños en las personas con síndrome de down y el diseño de la actividad fomenta la adquisición de valores de tolerancia a través de actividades educativas integrales que atienden a las competencias de autonomía e iniciativa personal. Toda acción educativa que se realice con los alumnos ACNEE debe tener en cuenta que la enseñanza-aprendizaje, habilidades, actividades, estrategias, entornos, etc., sean adecuados a su edad cronológica y cognitiva. Por ello, es necesario partir de la situación real de cada alumno, respetando su ritmo de aprendizaje y el desarrollo de su evolución personal. Estas experiencias han resultado muy satisfactorias, tanto para la asimilación de nuevos conocimientos relacionados con la Geología y el Medio Ambiente, como a nivel social, reforzando la adaptación de los ACNEE a contextos sociales amplios.

Queremos destacar que han permitido un acercamiento e interacción con el colectivo universitario, que para los ACNEE no es siempre algo posible en su periodo formativo. Esto ha posibilitado la participación del colectivo en actividades científicas diseñadas expresamente para sus capacidades, con la guía de interlocutores específicos y con el acceso a materiales que normalmente no podrían haber podido contar.

Para asegurar el éxito de la actividad hay que desarrollarla en el marco de un plan educativo amplio con sesiones teóricas de trabajo seguidas de otras sesiones prácticas en las que se afiancen los conceptos trabajados. Además de la preparación previa, la ejecución de esta actividad conlleva la necesidad de disponer de un conjunto más amplio y diverso de materiales geológicos, y la colaboración de personal cualificado (especialistas en Educación Especial y en Geología) que se ajuste al ritmo y las necesidades de los estudiantes, por lo que su realización está ciertamente limitada a un contexto muy específico. A pesar de que las actividades no requieran grandes cantidades de material como soporte didáctico para su puesta en vigor, es conveniente que desde la universidad se organicen este tipo de actividades adaptadas, debido a la mayor disponibilidad de recursos materiales y humanos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el PIMCD n.º 7 (2013) *Geodivulgar: Geología y Sociedad de la UCM*. Los autores quieren agradecer al Centro de Educación Especial María Corredentora el uso de sus instalaciones y materiales didácticos, así como al Departamento de Paleontología de la Universidad Complutense por la utilización de su espacio y colecciones.

Referencias bibliográficas

Boletín Oficial del Estado. BOE-A-2008-6963: *Instrumento de ratificación de la Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad, hecho en Nueva York el 13 de diciembre de 2006*. Publicado en: «BOE» núm. 96, de 21 de abril de 2008, pp. 20648-20659. 2008.

CHAPMAN, A.; WYNDHAM, J. *A Human Right to Science*. Science, vol. 340. N.º 6138, p. 1291. 2013.

GARCÍA-FRANK, A.; CANALES, M.L.; GÓMEZ-HERAS, M.; GONZÁLEZ ACEBRÓN, L.; HONTECILLAS, D.; DEL MORAL, B.; MUÑOZ-GARCÍA, M.B.; SARMIENTO, G.N. *Geodivulgar: una nueva experiencia para la divulgación de la Geología entre alumnos con necesidades educativas especiales por discapacidad intelectual*. En: I. Rábano y A. Rodrigo (eds.): *XX Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural* (Madrid), pp. 124-125. 2013.

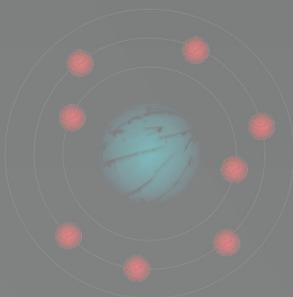
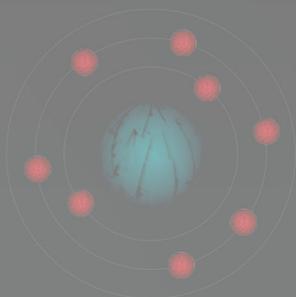
ICESCR. *International Covenant on Economic, Social, and Cultural Rights*. [En línea]: <www.ohchr.org/EN/ProfessionalInterest/Pages/CESCR.aspx>. 1966.

ONU. *Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y Protocolo Facultativo*, Organización de las Naciones Unidas. [En línea]: <<http://www.un.org/disabilities/documents/convention/convoptprot-s.pdf>>. 2006.

Organización Mundial de la Salud y Grupo del Banco Mundial. *Informe Mundial sobre la Discapacidad*. [En línea]: <www.who.int/disabilities/world_report/2011/report.pdf>. 2011.

SCHALOCK, R.; LUCKASSON, R. A.; SHOGREN, K. A.; BORTHWICK-DUFFY, S.; BRADLEY, V.; BUNTINX, W. H. E.; COULTER, D. L.; CRAIG, E. M.; GÓMEZ, S. C.; LACHAPPELLE, Y.; REEVE, A.; SNELL, M. E.; SPREAT, S.; TASSÉ, M. J.; THOMPSON, J. R.; VERDUGO, M. A.; WEHMEYER, M. L.; YEAGER, M. H. *The renaming of mental retardation: Understanding the change to the term intellectual disability*. Intellectual and Developmental Disabilities. N.º 45, pp. 116-124. 2007.

FEAPS (Confederación Española de Organizaciones en favor de las Personas con Discapacidad Intelectual). *¿Qué es la discapacidad intelectual?* [En línea]: <<http://www.feaps.org/conocenos/sobre-discapacidad-intelectual-o-del-desarrollo.html>> [consulta: noviembre de 2013].



e-ISBN: 978-84-00-09785-1



9 788400 097851



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD



CSIC

Fundación **BBVA**