

Notas de clase

Una pizarra en la que intercambiar experiencias docentes

Ciencia y tecnología en la mina de un lápiz: un ejemplo para el aprendizaje STEAM

Gabriel Pinto Cañón

ETS de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid. Grupo Especializado en Didáctica e Historia, común a las Reales Sociedades Españolas de Física y de Química



Victoria Alcázar Montero

ETS de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid. Grupo Especializado en Didáctica e Historia, común a las Reales Sociedades Españolas de Física y de Química



Elisa Pinto Pulido

Instituto de Investigación Sanitaria Gregorio Marañón, Madrid

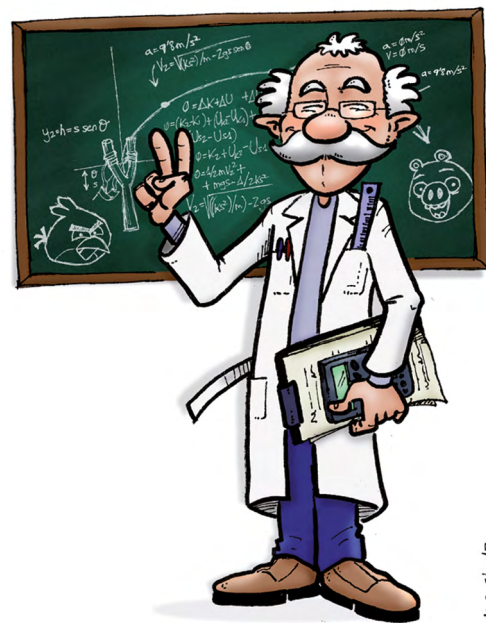


En los últimos años, hemos utilizado el recurso que se presenta aquí, tanto en la práctica docente como en cursos de actualización del profesorado y en eventos de divulgación científica. En todos los casos, la respuesta de los participantes suele ser una sucesión de sorpresa, diversión, interés y admiración. En esencia, se trata de combinar el uso de un objeto muy familiar —como el lápiz— con un juguete o ingenio científico de muy bajo coste —el denominado *energy stick* o *energy tube*—, para fomentar el aprendizaje de aspectos variados de ciencia y tecnología.

Introducción

Como es bien conocido, el aprendizaje STEAM se refiere a conjuntos de saberes que abarcan áreas de ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas, por sus iniciales en inglés. La propia denominación no está exenta de ciertas controversias [1], pero actualmente supone un nexo común, a nivel mundial, para promover el estudio de ciencia y tecnología, en las diferentes etapas educativas, y para incluir implicaciones del ámbito de las artes.

Desde hace décadas, los primeros firmantes de este trabajo hemos venido desarrollando decenas de ejemplos de herramientas educativas —situaciones de aprendizaje en



166-61-43

Ilustración por gentileza de Alberto García Gómez (albertogg.com).

términos de la didáctica actual— con el uso de objetos y materiales de la vida cotidiana muy variados (botijos y otros recipientes cerámicos, etiquetas de productos comerciales, bebidas, productos de limpieza, caramelos, harina de maíz, calderas, cafeteras, etc.) [2,3]. La razón es doble: por una parte, se facilita el desarrollo del proceso de enseñanza y aprendizaje, al utilizar materiales fácilmente accesibles y, por otra, se muestra cómo la ciencia no es algo alejado de la realidad sino, muy al contrario, una parte fundamental de la misma. En estos ejemplos se ha intentado, además, reforzar su vertiente práctica, destacando aplicaciones técnicas.

El *energy stick* como herramienta educativa y situación de aprendizaje

El *energy stick* (traducido a veces al español como “tubo de conductividad eléctrica”) es un juguete o ingenio científico, bastante recurrente en festivales científicos desde hace un tiempo. De Prada y Martínez Pons trataron en esta misma revista su uso en diversas aplicaciones educativas [4]. En dicho trabajo, lo describen como un cilindro de plástico transparente, con láminas delgadas de aluminio en sus extremos, una fuente de alimentación de dos pilas de botón de 1,5 V conectadas en serie, y un circuito integrado muy sensible que permite detectar intensidades de corriente muy bajas. El circuito lo forma un generador de tonos, un transductor piezoeléctrico de sonido (funciona como altavoz), transistores que funcionan como interruptores electrónicos del transductor y tres leds (del inglés *light emitting diode*, diodo emisor de luz) —de colores rojo, verde y azul parpadeantes— dispuestos en paralelo. Una de las curiosidades que aporta es que su alta sensibilidad permite detectar incluso la baja intensidad de corriente eléctrica que circula a través de la piel (debido a la presencia de agua y sales en el sudor). Así, cuando se sujetan los extremos de aluminio con las dos manos, se iluminan los leds y se produce un zumbido característico.

Uno de los aspectos que lo hacen más divertido, es que puede aplicarse con varias personas (incluso decenas) que unen sus manos formando un corro. Independientemente de la edad, el sonido y la luz generados por el circuito cerrado, despiertan gran curiosidad y sorpresa. Cuando está activo, se puede pedir a dos participantes del corro (de los que no sujetan el *energy stick*) que suelten sus manos; en ese

momento, la corriente deja de circular, porque se abre el circuito eléctrico, de forma que los elementos visuales y sonoros quedan inactivos. En este punto, si a esos dos participantes se les pide que sujeten, entre ambos, diversos objetos con sus manos (antes separadas), se puede determinar si son conductores eléctricos (como cualquier metal) o no (como el papel y cualquier objeto de plástico convencional).

Hasta aquí estaba el estado del arte conocido por los autores sobre el tema, y compartido tanto por docentes y divulgadores [4] como por empresas proveedoras de material educativo [5]. Con ocasión de la celebración, en 2019, del *Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos*, introdujimos la actividad en nuestra práctica docente y en eventos divulgativos. El objetivo era presentar el hecho de que la conductividad eléctrica es una propiedad periódica más (aunque no suficientemente tratada) de los elementos químicos. Para ello, se invita a las dos personas que tocan un objeto (en el contexto descrito anteriormente), a que este sea algo cotidiano o fácilmente identificable, y preferiblemente formado por un elemento químico prácticamente puro [6].

Uso del *energy stick* para determinar el carácter de conductor eléctrico de la mina de lápiz

Continuando con el caso del estudio de la conductividad eléctrica de elementos químicos que se emplean en la vida cotidiana, seleccionamos el carbono, explicando que uno de

los alótropos no conduce la corriente eléctrica (diamante) y otro sí (grafito). En el segundo se observa fácilmente que conduce la corriente eléctrica, utilizando un lápiz al que se le “saca punta” por ambos extremos (a veces no se aprecia inicialmente porque alguno de los participantes no sujeta adecuadamente con sus dedos la punta de la mina, sino la madera del lápiz). Es bien conocido que una de las aplicaciones principales del grafito es el uso como mina de lápiz, pero, en esta ocasión, se resalta también que, por ser buen conductor eléctrico, es ampliamente utilizado en electrodos, como los de algunas pilas voltaicas.

En la figura 1 se muestra el dispositivo práctico para la comprobación de la conductividad eléctrica, con el *energy stick*, de algunos de elementos químicos que forman parte de objetos de la vida cotidiana, según se ha descrito.

Una actividad que suele resultar impactante (tanto en alumnos de diferentes etapas educativas, como profesorado y público en general), es dibujar sobre un papel con un lápiz, y comprobar si el trazo conduce suficientemente para que se active el *energy stick*. Salvo que se disponga de mucho tiempo para hacerlo *in situ* (por ejemplo, en un taller divulgativo), suele ser conveniente tenerlo ya preparado. Incluso, por lo que se explica en el siguiente apartado, se recomienda dibujar, en tamaño grande, dos letras distintas, H y B, que se corresponden con el lápiz utilizado (tipo H o B, respectivamente), como se recoge en la figura 2. Además, es recomendable marcar intensamente con el lápiz, para generar un dibujo suficientemente compacto que garantice la conductividad eléctrica, en su caso.



Fig. 1. Escenas del dispositivo experimental para la determinación del carácter de conductor eléctrico o no de diversos elementos químicos.



Fig. 2. Experiencia para la determinación del carácter conductor en trazos de lápices de tipo H y de tipo B.

Se observa que no todas las minas de lápiz conducen igual la corriente eléctrica. Algunas únicamente activan levemente el *energy stick*, que se ilumina de forma tenue —siguiendo el orden de encendido de los leds que coincide con lo razonado por la equivalencia entre frecuencia y energía dada por la ley de Planck [4]—, y emite un sonido de baja intensidad. Otras minas, por el contrario, hacen que se active con luz y sonido de alta intensidad. Algo similar ocurre con los trazos marcados sobre papel: los de las minas “poco conductoras” es difícil que activen el aparato o lo hacen tenuemente, mientras que los de las minas “muy conductoras” lo suelen activar de forma intensa. Para explicar esto y descubrir que se debe a que existen distintos tipos de mina, es conveniente conocer algo sobre su proceso de fabricación.

Tecnología asociada a la fabricación de las minas de lápices

El proceso de fabricación de lápices, en general, se describe en diversas direcciones web, como en el canal de Youtube “Fabricando” [7]. Aunque hay variaciones entre fabricantes, el procedimiento general es el que se describe en los siguientes párrafos, ilustrado en la figura 3. No coincide con el pensamiento general de que se introduce directamente una barra de grafito puro en el hueco central de un cilindro de madera.

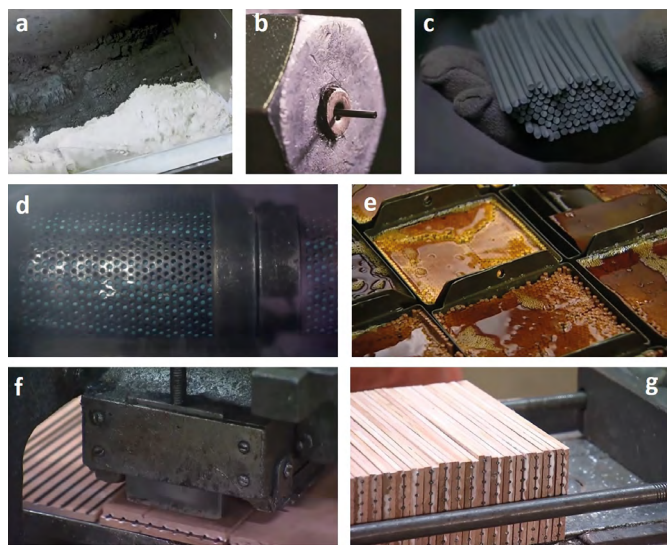


Fig. 3. Escenas del vídeo recogido en [7] (con el permiso del canal “Fabricando”), donde se ilustran los procesos de: mezclado de arcilla, grafito y agua (a), extrusión de la pasta (b), las minas tras la extrusión (c), horneado (d), baño en cera fundida (e), compactación de los bloques de madera (f) y presionado de los mismos (g).

El mineral grafito (obtenido en canteras a cielo abierto o en minas subterráneas) se mezcla con arcilla —ambos en forma de polvo—, y con un poco de agua. Las proporciones de arcilla (normalmente en forma de caolinita, formada por silicatos aluminicos estratificados), y grafito determinarán la dureza y lo oscuro que escribirá la mina. La pasta humedecida de grafito y arcilla reposa un tiempo y se le da forma por extrusión. Posteriormente, se estira con un rodillo a alta presión y se corta con la longitud deseada para formar las minas. Estas, aún flexibles, se secan y se hornean en un horno eléctrico a unos 1000 °C; a continuación, se sumergen en un baño de cera fundida o aceite para endurecer, sellar microporos y favorecer la formación de una superficie se-

cosa (facilitando el deslizamiento por el papel y que quede una escritura más lisa). La madera empleada —una típica es la de cedro— para formar el lápiz debe ser suficientemente blanda para darle forma, pero también resistente para que no se doble al escribir. Esta madera se corta en láminas y se preparan ranuras, que se llenan de cola (protege la mina para que no se rompa y facilita que quede adherida). Una rueda metálica coloca cada mina en su ranura, pasando después otra lámina de madera simétrica por arriba. Tras secarse en un horno, un pistón presiona las tablas para que se seque la cola. Con una fresadora se corta la madera para dar la forma adecuada al lápiz y, tras comprobar su calidad, se recubre con un tratamiento protector, con varias capas de pintura y una última capa de lacado con barniz transparente (basado en agua y sin productos tóxicos porque los lápices se mordi-quean por muchos usuarios, especialmente niños). Finalmente, una estampadora imprime los datos de la marca y de los códigos del lápiz. A veces se incluye una gota de pintura en uno de los extremos, otras se saca punta de forma automática con una lija, y otras, se incluye una pequeña goma de borrar unida con un cilindro de aluminio, entre otras terminaciones.

Ampliación de conocimientos y temas interdisciplinarios

Un ejemplo de cómo se puede abordar lo tratado, en una exposición de unos diez minutos, en el contexto de una feria científica, se recoge en [8]. El cartel de presentación se muestra en la figura 4. Como se puede apreciar en dicho recurso, y es frecuente en las explicaciones de los autores sobre otros temas relacionados con la física y la química, se presta un especial esfuerzo a razonar las relaciones entre estructura y propiedades de los materiales. En este caso, se hace uso de modelos moleculares de gran tamaño (figura 5) que los participantes pueden sostener y girar (e, incluso, fotografiarse con ellos, lo que suele ser gratificante para todos). Así, observan que la estructura del grafito es laminar, con planos de hexágonos de átomos de carbono unidos por fuertes enlaces covalentes en el plano y más débil, de tipo van der Waals, entre planos. La separación de planos, por efecto del rozamiento, explica la propiedad de que se puedan hacer marcas (pequeñas partículas de paquetes de láminas de carbono) con un lápiz sobre el papel. En el caso del diamante, no es posible por el hecho de que todos los átomos de carbono están fuertemente unidos entre sí por enlace covalente. Según el nivel educativo, se puede explicar la formación de orbitales híbridos sp^2 en el grafito y sp^3 en el diamante. También se puede introducir que hay otras formas alotrópicas del carbono, como los fullerenos, descubiertos en la década de 1980, siendo el más sencillo y primero en ser descubierto el C_{60} (conocido como buckminsterfullereno o *futboleno*), también mostrado en la figura 5. Esto puede servir para introducir el campo de los nanomateriales, de tantas aplicaciones y objeto de investigación en la actualidad.

El hecho de que el grafito sea conductor eléctrico, se explica por la presencia de electrones en orbitales moleculares deslocalizados formados por los orbitales atómicos 2p que quedan sin hibridar en cada carbono. Por el contrario, el diamante no es conductor eléctrico porque todos sus electrones están localizados. Un tratamiento más exhaustivo de esta propiedad implicaría introducir la teoría de bandas de energía del estado sólido, lo que excede el nivel de los objetivos de este



Fig. 4. Cartel anunciador de la actividad divulgativa desarrollada en una feria científica.

trabajo. Por otra parte, esta misma teoría de bandas justifica el hecho de que el grafito sea negro (existe la posibilidad de tránsitos electrónicos a los valores de energía de todas las frecuencias del espectro visible), mientras que el diamante es transparente e incoloro (existe una elevada diferencia de energía entre la banda totalmente ocupada de mayor energía y la inmediata desocupada) [9].

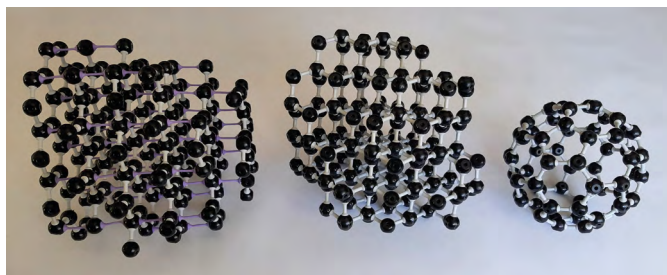


Fig. 5. De izquierda a derecha, modelos de grafito, diamante y el fullereno C_{60} .

Para entender mejor parte de lo referido aquí, como en tantas otras ocasiones, suele ser interesante conocer sobre el significado de los términos involucrados. A modo de ejemplo, la Real Academia Española indica que la palabra lápiz procede del latín *lapis* (piedra) y que se trata de un utensilio para escribir o dibujar formado por un cilindro o prisma de madera con una barra de grafito en su interior. A su vez, la misma fuente indica que grafito procede de *grafó-*, y que se trata de un mineral untuoso, de color negro y lustre metálico, constituido por carbono cristalizado, que se puede producir artificialmente y se usa en la fabricación de lapiceros y en otras aplicaciones industriales. El término latino *lapis* remite también a otras palabras del castellano actual, como lápida y lapidar.

En relación a otros alótropos del carbono, la actividad descrita es buena ocasión para introducir el descubrimiento del grafeno (formado por anillos hexagonales como si fuera una única capa de grafito de un átomo de espesor). Buen conductor eléctrico, de gran resistencia mecánica y muy ligero, se redescubrió —había sido descrito de forma teórica algunas décadas antes— en 2004, por los físicos de origen ruso Andréi Geim y Konstantín Novosiólov, trabajando en la Universidad de Mánchester. Recibieron por ello el premio Nobel de Física en 2010 [10]. Según describieron, utilizaron cinta adhesiva

común para retener muestras de grafito y obtener grafeno por exfoliación mecánica; en la actualidad, el grafeno se prepara por diferentes vías y se dispone sobre distintos sustratos [11].

Por otra parte, el lápiz moderno, formado por polvo de grafito y arcilla según se ha descrito, tiene su origen en el descubrimiento, a mediados del siglo XVI de un gran depósito de grafito de elevada pureza en Borrowdale (norte de Inglaterra). Se pensó que era una forma de plomo —el término actual para la mina del lápiz en inglés sigue siendo *lead*, plomo—. Aparte de otros usos, como su empleo en moldes muy eficaces para la fabricación de balas de cañón, se empezó a utilizar (a veces rodeado de cordeles, para no mancharse), para marcar piedras, ovejas, etc. En 1795 el científico, aeronauta y oficial del ejército francés Nicolas-Jacques Conté (figura 6) inventó un método para fabricar las minas, similar al actual, basado en la mezcla de grafito y arcilla [12,13].



Fig. 6. Retrato de Nicolas-Jacques Conté.

Aunque hay varias clasificaciones para la dureza de las minas, las más frecuentes se describen mediante un número seguido de las iniciales H (del inglés *hard*, duro) y B (del inglés *black*, negro), y suelen variar entre 9H (el más duro) y 8B (el más blando). Por ejemplo, según Sousa y Buchanan [14], la mina tipo 9H contiene 41 % de grafito, 53 % de arcilla y 5 % de cera, la de tipo 8B contiene 90 %, 4 % y 5 %, respectivamente, y la HB (mina “media”) 68 %, 26 % y 5 %, respectivamente.

Todo lo descrito con el *energy stick*, para evaluar la conductividad eléctrica, se podría hacer (forma cuantitativa) con un multímetro (instrumento de bajo coste fácilmente accesible en ferreterías), a través de la medida de resistencia eléctrica; pero pierde el “encanto” de las luces y el sonido. En todo caso, la temática descrita permitiría tratar con alumnos y público en general otros aspectos, según su formación e inquietudes,

como la fabricación de lápices de colores (se emplean pigmentos), los fundamentos de un led, la diferencia entre conductividad eléctrica superficial y transversal, unidades de medida de la conductividad eléctrica, etc. Además, también cabría destacarse la importancia del lápiz para la escritura y el dibujo, lo que daría contenido a la "A" del aprendizaje STEAM.

Conclusiones

La experiencia del empleo del juguete científico conocido como *energy stick*, para evaluar la conductividad eléctrica de objetos cotidianos es motivadora, tanto para alumnos de las distintas etapas educativas como para el público en general. Permite discutir aspectos como la variación de propiedades periódicas en los elementos químicos. Su utilización para diferenciar la conductividad eléctrica de distintos tipos de minas de lápices permite introducir aspectos de ciencia (estructura de la materia, orbitales atómicos, hibridación de orbitales, enlace químico, alotropía...), técnica (diseño de un juguete electrónico, fabricación de lápices, transformaciones de la materia...), historia (desarrollo del lápiz, descubrimiento de nuevos materiales...), lingüística (etimología de palabras cotidianas y técnicas) y arte (como el dibujo). Todo ello, "aliñado" con ciertos toques de humor, puede dotar a las clases y a las exposiciones divulgativas de un entorno formativo lúdico y distendido.

Agradecimientos

Se agradece la ayuda recibida por la Universidad Politécnica de Madrid, a través de los proyectos "Polímeros: del aprendizaje a la investigación, un camino de ida y vuelta" y "*Chemistry in daily life*", de la convocatoria de "Ayudas a la Innovación Educativa y a la Mejora de la Calidad de la Enseñanza 2023-24".

Referencias

- [1] G. PINTO CAÑÓN, Educación STEAM: Análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades, *Anales de la Asociación Química Argentina* **109** (número extra), 114 (2022).
- [2] G. PINTO CAÑÓN, El laboratorio en casa: ideas para realizar trabajos experimentales con objetos cotidianos, *Educación en la Química* **26** (2), 177 (2020).
- [3] V. ALCÁZAR MONTERO y G. PINTO CAÑÓN, Recursos para la didáctica de las ciencias. En *Experiencias y estrategias de innovación educativa en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (III)*, pp. 11-16, M. González Montero de Espinosa y A. Herráez Sánchez (editores). (Grupo SM, 2023).
- [4] F. I. de AZPEITIA PRADA PÉREZ y J. A. MARTÍNEZ PONS, La física es cool con el *energy stick* y la bola de plasma, *Revista Española de Física* **33** (1), 36 (2019).
- [5] Educational Innovations, *Energy Tube*, <https://short.upm.es/50wrv>.
- [6] G. PINTO CAÑÓN, La tabla periódica como recurso imprescindible para el aprendizaje y la divulgación de las ciencias, *Educación en la Química* **25** (2), 17 (2019).
- [7] Fabricando (canal de Youtube), Cómo se hacen los lápices de grafito, <https://m.youtube.com/watch?v=mm6TieY-8s0>.
- [8] XIII Feria Madrid es Ciencia, Vídeo de la ponencia "Aprendiendo ciencia y tecnología con la mina de un lápiz" (8 de marzo de 2024), <https://short.upm.es/9vc4m>.
- [9] E. GUTIÉRREZ RÍOS, *Química Inorgánica* (Reverté, 1978).
- [10] A. GEIM y K. NOVOSELOV, The rise of graphene, *Nature Materials* **6**, 183 (2007).
- [11] K. A. MADURANI, S. SUPRAPTO, N. I. MACHRITA, S. L. BAHAR, W. ILLIYA y F. KURNIAWAN, Progress in graphene synthesis and its application: History, challenge and the future outlook for research and industry, *ECS Journal of Solid State Science and Technology* **9**, 093013 (2020).
- [12] F. L. ENCKE, The chemistry and manufacturing of the lead pencil, *Journal of Chemical Education* **47** (8), 575 (1970).
- [13] S. CAIN, A. A. CANTU, R. BRUNELLE y A. LYTER, A scientific study of pencil lead components, *Journal of Forensic Sciences* **23** (4), 643 (1978).
- [14] M. C. SOUSA y J. W. BUCHANAN, Observational models of graphite pencil materials, en *Computer Graphics Forum* **19** (1) 27. (2000).