

Luces de colores en el cielo: Química y festejos populares

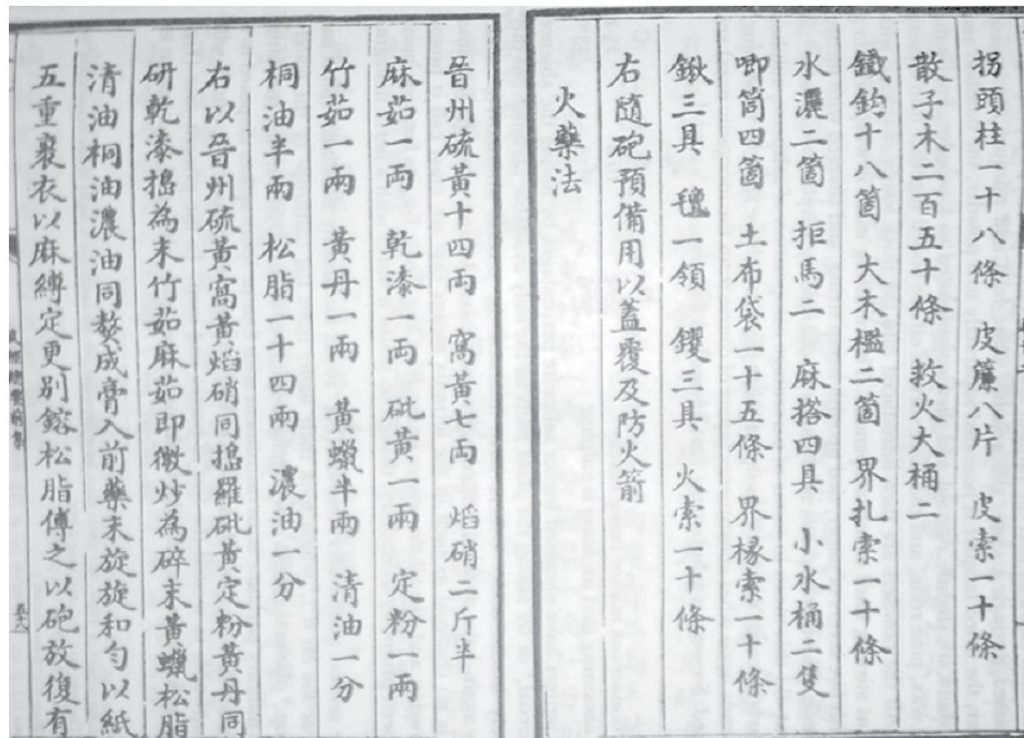


Figura 1. El escrito más antiguo del procedimiento de preparación de la pólvora es de 1044 en el libro Wuying Zongyao. Imagen de PericlesofAthens - Dominio público, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2549290>

Margarita I. Bernal Uruchurtu
Centro de Investigaciones Químicas, UAEM

El viernes 15 de septiembre muchos mexicanos acudieron a las plazas cívicas a dar el grito. Parte del entusiasmo por asistir a estas concurridas celebraciones es tener oportunidad de ver los fuegos artificiales, tirar cohetes, encender luces de bengala. Quienes evitamos las multitudes no podemos evitar al escuchar el primer rugido en el cielo, asomarnos por la ventana o subir a algún lugar en alto para disfrutar desde casa el espectáculo en el cielo. Las festividades cívicas, religiosas y sociales en México suelen incluir en su programa un espacio para los fuegos artificiales. ¿De qué están hechos? ¿A qué se deben los colores que observamos? ¿Qué riesgo representan?

Explosivos, explosiones y cohetes

Dice la historia que los primeros fuegos artificiales se desarrollaron posiblemente en China en el siglo VII con el propósito de alejar malos espíritus. Para poder hacerlos fue indispensable el uso de la pólvora que accidentalmente fue fabricada con anterioridad por un cocinero. Sí. No fue un

científico, ni un fabricante de armas, sino un cocinero que estaba buscando una fórmula para limpiar mejor su fogón y sus sartenes, quien mezcló salitre, azufre y realgar con un poco de miel. Al frotar esta mezcla ocurrió una explosión que destruyó la cocina. Esta historia se conoció a través de los escritos de un grupo de monjes taoístas que en el siglo X registró con detalle lo ocurrido. En la Figura 1 se muestra una copia de la receta original. El salitre, formado principalmente por nitrato de potasio, KNO_3 , al molerse muy finamente con el azufre y el sulfuro de arsénico (As_2S_3) llamado entonces, realgar, produce una reacción química en la que los enlaces entre el nitrógeno y el oxígeno del nitrato de potasio, se rompen, desprendiendo la energía que se encontraba almacenada en ellos. ¿Y la miel? Éste último ingrediente es un buen combustible, es decir, es un material que se quema y produce una flama y humo. Todo proceso de combustión requiere de tres elementos: combustible, comburente y energía como iniciador. El comburente más común es el oxígeno, que forma aproximadamente 20% del aire. También se le puede llamar oxidante, ya que su función química en este proceso es el oxidar a las moléculas de combusti-

ble hasta convertirlas en bióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O). Si observamos con cuidado, notamos que la composición química del nitrato de potasio contiene tres átomos de oxígeno unidos a uno de nitrógeno, lo que le da el carácter de un fuerte oxidante que, sumado a la acción del oxígeno del aire conduce a una rápida y violenta reacción. El invento de este cocinero fue rápidamente aplicado en China para la fabricación de granadas incendiarias y en el siglo XIII y XIV los europeos aprendieron que al confinar la pólvora en espacios cerrados, la fuerza de la explosión podía impulsar un proyectil. Así inventaron las armas y los cañones. La pólvora que se usa actualmente se prepara con el nitrato de potasio, azufre y carbón. Estos dos últimos son los combustibles; el azufre al quemarse produce SO_2 , dióxido de azufre que identificamos como el olor residual de quemar un cohete. La fabricación de la pólvora es un proceso altamente peligroso; el calor que se produce al molar finalmente los componentes es suficiente para producir una explosión. La calidad de la pólvora depende del molido, si los componentes están en grano grueso ocurre una combustión incompleta, es necesario que los

granos sean muy finos ya que al aumentar el área superficial se logra que todos las partículas de carbón y azufre se quemem simultáneamente.

siones no para en el tronido, hay chisporroteos y chiflidos. Para producir este tipo de ruidos es necesario incluir en la mezcla otros componentes. Los crujidos o chisporroteos se obtienen con una mezcla que contiene una aleación de Magnesio y Aluminio con óxido de plomo (Pb_3O_4) que por su toxicidad se substituyó por el de bismuto (Bi_2O_3). Estos componentes se mezclan y agregan como pequeños gránulos en el dispositivo explosivo y, al quemarse rápidamente, producen el chisporroteo. Pero si lo que queremos es hacer chifladores, entonces hay que incluir en el dispositivo explosivo tubos estrechos con materiales orgánicos aromáticos inflamables como los que se muestran en la figura 2. Estos compuestos se queman más lentamente que la pólvora y al estar contenidos en un tubo producen una sucesión de explosiones que al expulsar el gas producen el característico ruido.

De colores ...

La adición de otras sustancias que en el momento de explotar producen colores fue, aparentemente, un trabajo de ensayo y error que los vendedores callejeros en China dominaron pronto. Los escritos posteriores en Medio Oriente y en Europa buscaban descubrir los misterios que los fuegos artificiales chinos entrañaban. Ahora sabemos que la adición de pequeñas cantidades de sales metálicas tiene como resultado la coloración que observamos en la

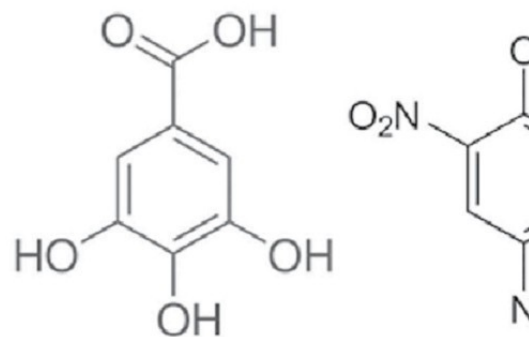


Figura 2. De izquierda a derecha: ácido gálico, ácido pírico y benzoato de potasio, el hexágono es una forma de representar un anillo de seis átomos de carbono que los compuestos aromáticos tienen en su fórmula.

pirotecnia. Si usted, curioso lector, arroja al fuego de la estufa unos cristales de sal de mesa, observará una característica flama amarilla. Al calentarse a altas temperaturas, el sodio del cloruro de sodio, la sal común, emite luz de color amarillo-naranja. El

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial@acmor.org.mx



cobre produce azules intensos; el color verde puede obtenerse con sales de bario y una variedad de rojos, naranjas y amarillos son producto de las emisiones de cadmio, litio, antimonio, rubidio y plomo.

La energía que la explosión desprende sirve, entre otras cosas, para provocar la emisión de luz por los átomos metálicos. Recordemos por un momento que los átomos de todos los elementos químicos están formados por un núcleo y diferente número de electrones. Estos últimos se distribuyen alrededor del núcleo y la estructura que adoptan a su alrededor es la de menor energía, la que le confiere una gran estabilidad al átomo completo. Cuando un átomo absorbe energía, por ejemplo en forma del calor proveniente de la explosión, algunos de sus electrones pueden absorberla y migrar a un estado de mayor energía. Al regresar a su estado inicial desprenden la energía absorbida en forma de un paquete de energía que se llama fotón. La cantidad de energía que el fotón contiene se caracteriza por la longitud de la onda correspondiente. Así, los paquetes de menor energía y mayor longitud de onda corresponden a luces rojas y naranjas, mientras que los de mayor energía y menor longitud son azules. En la Figura 3 se muestra el fragmento del espectro electromagnético que corresponde a la luz visible. Al final del siglo XIX se descubrió que el fenómeno de emisión de luz por los átomos de un elemento es característico y diferente al de otros átomos, con

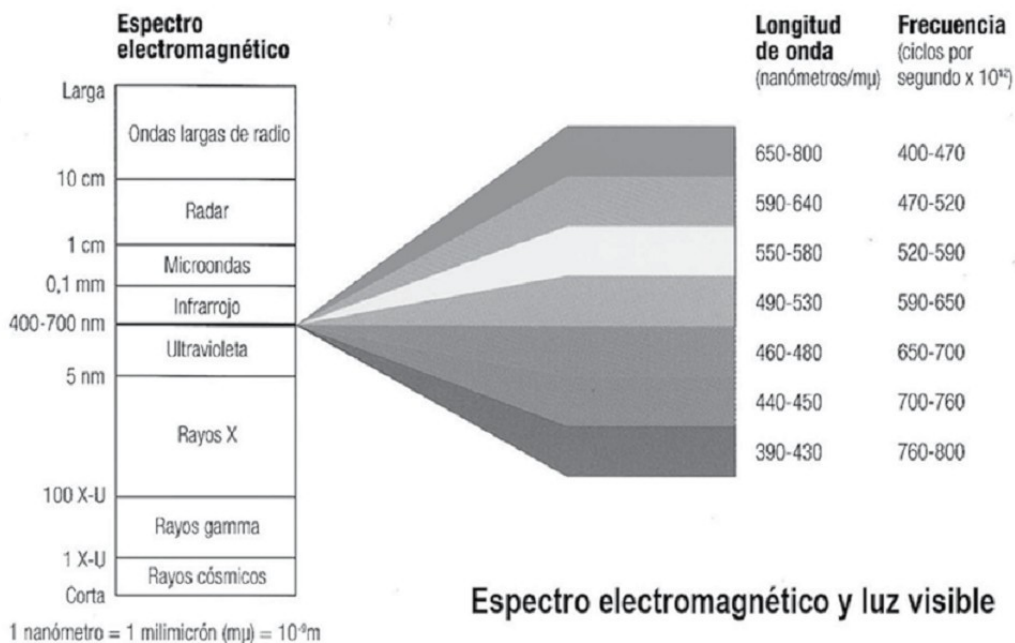


Figura 3. Representación esquemática del espectro electromagnético. Las ondas cuya longitud se encuentra entre 400-700 nm son visibles por el ojo humano.

mo a partir del análisis de la luz emitida. La intensidad de los colores que observamos en los fuegos artificiales depende de la cantidad de átomos que emiten luz y puede ser aumentada si las sales metálicas que se emplean se agregan en forma de cloratos (ClO₂) o percloratos (ClO₄), es decir, acompañadas en su molécula por un fragmento que contiene también oxígeno,

pero no en la Ley Federal de Pirotecnia en México.

Una diversión cara y peligrosa

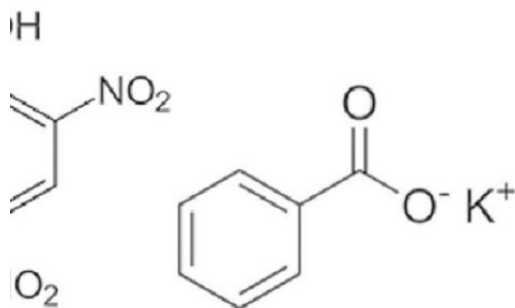
La pólvora, a pesar de considerarse un explosivo lento y por ello menos peligroso que otros, es un material de venta y utilización controlada. En México, su utilización está controlada y regulada por la Secretaría de la Defensa Nacional tanto para su elaboración como para su comercialización. No obstante, no faltan quienes criminalmente la han substituido por otros explosivos baratos, por lo general importados ilegalmente y con efectos mutagénicos y carcinogénicos como el hexaclorobenceno. Por otra parte, en la última década hemos sabido de muchísimo accidentes causados por la preparación, almacenaje y uso de fuegos pirotécnicos. Cuando las regulaciones pertinentes no son suficientes o no se cumplen, como ha sucedido en varios estados de nuestro país, Veracruz (2002) Guanajuato (1999), Tlaxcala (2013) y Estado de México (2016) y en países como Argentina o Perú, el costo en vidas humanas ha sido altísimo. Las consecuencias de una noche de fuegos artificiales en la ciudad, no es solamente el recuerdo de la emoción vivida y las borrosas fotografías que los no profesionales captamos. Como cualquier combustión, se emiten a la atmósfera grandes cantidades de gases, algunos de ellos contaminantes. En particular, el SO₂, men-

cionado en párrafos anteriores, además de ser un irritante a las vías respiratorias, reacciona con la humedad atmosférica dando lugar a lluvia ácida. Las precipitaciones de lluvia ácida tienen efectos dañinos y corrosivos sobre algunos materiales de construcción pero, de manera más importante, sobre los bosques y los ecosistemas acuáticos. Hay serios estudios sobre la composición de la atmósfera en ciudades no industriales después de una noche de año nuevo que han encontrado que durante periodos cortos cuya duración depende de las condiciones meteorológicas (aire, lluvia) la concentración de metales pesados como plomo, cromo, manganeso, cadmio, níquel y arsénico llega a ser diez veces más alta que la permitida por las agencias de salud y regulación del ambiente.¹ Por otra parte y de manera no menos importante, las partículas que permanecen suspendidas en el ambiente por muchas horas producen esa atmósfera turbia y de color sucio que observamos al día siguiente. En esas atmósferas, existen partículas que los especialistas llaman PM₁₀, por tener diámetros máximos de 10 micras. Estos contaminantes son observados con mucho cuidado debido a que son pequeños y ligeros, lo que les permite permanecer flotando en la atmósfera varias semanas o hasta que un episodio de lluvia los arrastre. Dichas partículas ingresan en las vías respiratorias y se depositan al interior de los alveolos pulmonares. Como

su composición es siempre muy diversa, pueden contener sustancias irritantes que generan episodios de inflamación crónica asociada por los especialistas con enfermedades como algunos tipos de cáncer. Cada castillo, toro, judas y alebrije pirotécnico requiere para su fabricación entre cientos y miles de horas de trabajo de artesanos especializados. Por ello, en México el costo promedio de los fuegos pirotécnicos empleados en una festividad religiosa o civil es cercano al medio millón de pesos, recursos aportados por los miembros de la comunidad que desaparecen en pocos minutos. ¿No existirá una alternativa para ello? Si la hay aunque todavía no está ampliamente distribuida. El uso de luces LED (diodos de emisión de luz). Esta tecnología de bajo consumo eléctrico permite la construcción de estructuras flexibles con millares de luces que pueden programarse para encender de manera sincrónica y en colores diferentes. Si bien hay algunos lugares en China y Japón que han instalado exposiciones con ellas, aún no logran producir la emoción que la pirotecnia logra. Quizá en unos años, la consideración ambiental de estos juegos con fuego, luz y sonido, motive la innovación en este campo.

(Endnotes)

1 J. A. Licudine y colaboradores, Public Health Rep. 2012 Jul-Aug; 127(4): 440-450. doi: 10.1177/00335491212700412



lo que se encontraron las bases para el análisis de minerales desconocidos a partir del color que la flama adquiere al calentar una pequeña muestra. De hecho, los colores que emite cada átomo se conocen como su espectro, el cual es una especie de huella digital que permite identificarlo, distinguiéndolo de otros átomos y cuantificar la cantidad del mis-

mo al romper su enlace al cloro, desprenden energía y favorecen que todos y cada uno de los átomos que van a emitir, lo hagan de manera simultánea. El uso de estos derivados aumenta considerablemente el ruido que se produce en la explosión, rebasando con mucha frecuencia los 120 decibeles señalados en muchas normas internacionales