

# El Museo Nacional del Prado como recurso didáctico en Química

Fernando Ignacio de Prada Pérez de Azpeitia

**Resumen:** El Museo Nacional del Prado dispone de materiales didácticos diseñados para ser utilizados desde una perspectiva pluridisciplinar (arte, historia, música, literatura, etc.), sin embargo, no se encuentran relaciones con el mundo de la ciencia. Para superar esta fractura epistemológica, se propone una nueva y enriquecedora visión, descubrir la perspectiva científica que se esconde en sus cuadros, creando actividades que interrelacionen estos dos mundos para acercarnos a la química desde un punto de vista más humano, ético y estético.

**Palabras clave:** Arte y Química, Museo del Prado.

**Abstract:** The Prado Museum displays a large amount of educational materials designed to be used from a multidisciplinary approach (arts, history, music, literature, etc.), however these materials lack of connection with the world of science. In order to overcome this epistemological breach, a new and enriching vision is proposed: to discover the scientific approach which is hidden in the paintings, creating activities that link these two worlds so that we can approach to chemistry from a more human, ethical and aesthetic point of view.

**Key words:** Art and Chemistry, Prado Museum.

## Introducción

*“Todas las Artes y Ciencias son ramas del mismo árbol que están dirigidas a ennoblecer la vida humana”* (Albert Einstein).

Nuestro país puede presumir de contar con uno de los patrimonios artísticos más importantes del mundo con más de 1.300 museos. Entre ellos, el Museo Nacional del Prado, una de las mejores pinacotecas del mundo, es visita obligada para todos los estudiantes y amantes del arte. Mediante el placer visual de la contemplación de las obras, el alumno puede alcanzar una comprensión más profunda de la historia de la humanidad, de la naturaleza y, por qué no, también de ciencias como la química.

Sin embargo, hoy en día, todavía pervive en la sociedad y en la educación, una dicotomía entre el mundo de la ciencia y el del arte. ¿Cómo se explica esta fractura epistemológica? Una explicación la encontramos en los actuales planes de estudio: el alumnado que elige la vía científico-tecnológica pierden el contacto con el mundo del arte, lo que propicia una falta de conocimiento en esta parte importante de su educación, y como indica el poeta *“no se desea lo que no se conoce”* (Publio Ovidio).

La hipótesis que se plantea se resume en una frase: ¿se puede enseñar y aprender ciencia en una pinacoteca de arte como el Museo del Prado? Para demostrar que es posible superar esta aparente dicotomía, se propone una nueva visión

didáctica: descubrir la ciencia, en particular la química, que se esconde en algunas de las principales obras maestras de la pintura. La formación de nuestros estudiantes, debe lograr la realización intelectual completa, para que sea capaz de observar y comprender la naturaleza y sus transformaciones, a la vez que de conmoverse ante la belleza.

Disfrutar del arte junto a la ciencia, enriquece la percepción del mundo, nos integra en una realidad cultural más amplia y contribuye a encontrar un lenguaje común entre ambas disciplinas. En las obras maestras de la pintura, la química se refleja desde múltiples ángulos; empezando por la preparación de pigmentos, colorantes y aglutinantes, siguiendo por el tratamiento de los diferentes materiales empleados como soporte físico (lienzo, tabla, cobre, etc.), y terminando por las modernas técnicas utilizadas para restaurar las obras deterioradas por el paso del tiempo.<sup>1</sup> En esta propuesta, la química se centra en las representaciones de fenómenos en que la materia experimenta cambios estructurales.

Otros planteamientos que relacionan el Museo Nacional del Prado con la ciencia se encuentran en los siguientes textos: *“Una visita médica al Museo del Prado”* (A. Castillo. Ed. Fundación SB. Madrid. 1999) que muestra las relaciones con la medicina y grupos patológicos; *“El vino en el Prado”* (Fundación para la Cultura del Vino. Madrid. 2007), una recopilación de las obras más significativas de la pinacoteca relacionadas con el mundo del vino; y *“Las aves en el Museo del Prado”* (J. Gómez, SEO/Birdlife. 2010), un estudio de reconocimiento y catalogación de las distintas especies de aves representadas en las obras de la pinacoteca. El propio museo, dentro de su ciclo de conferencias (mayo de 2010), presentó en su auditorio dos ponencias de temática científica; *“La representación de la Ciencia y la Técnica en las pinturas del Prado de los siglos XV al XVII”* (J. Munt) y *“Buscando nubes por el Prado”* (M. Viñas), un acercamiento a la meteorología y climatología. En lo que respecta a exposiciones, cabe citar la muestra organizada por el museo del Prado en el año 2006, *“El trazo oculto. Dibujos subyacentes en pinturas de los siglos XV y XVI”*, donde se expusieron los resultados de investigaciones basadas en la reflectografía infrarroja de alta resolución (técnica no destructiva que proporciona el dibujo



F. I. Prada Pérez de Azpeitia

Dpto. Física y Química. IES Las Lagunas.  
Gabriel García Márquez, 1. Rivas. Madrid.  
C-e: [fernando.pradaperez@educa.madrid.org](mailto:fernando.pradaperez@educa.madrid.org)

Recibido: 03/09/2010. Aceptado: 26/10/2010.

oculto o subyacente) al análisis de diecisiete pinturas,<sup>2</sup> y otra exposición sobre la misma técnica, en la que participó y colaboró el Museo del Prado, “*El nacimiento de una pintura. De lo visible a lo invisible*” (Museo de Bellas Artes de Valencia, 2010), en la que se mostró, de una forma sencilla y didáctica, como los avances de la tecnología infrarroja continúan aportando abundante e innovadora información para esclarecer la autoría, los materiales, la forma de trabajar, y las técnicas y métodos utilizados por los grandes pintores.<sup>3</sup>

## Objetivos y Metodología

Establecer nexos didácticos entre el mundo de la química y el mundo del arte es el principal objetivo de esta propuesta didáctica. Para conseguirlo, se propone examinar las obras expuestas, ya sea recorriendo los pasillos de la pinacoteca, a través de reproducciones o navegando por la página web oficial del Museo del Prado.<sup>4</sup> En todos los casos bajo una nueva perspectiva, “*aprender a ver es el más largo aprendizaje de todas las Artes y Ciencias*” (J. Goncourt, 1830-1896), como si se tratara de una investigación científica, siguiendo las siguientes etapas; –buscar, indagar, observar y analizar las referencias científicas y químicas que aparecen en las obras de arte de la pinacoteca;– experimentar en el aula y laboratorio, los principios científicos reflejados en las grandes obras;– contrastar las condiciones de vida en la época en que se pintaron y la actual del siglo XXI, que nos permite vivir con todo tipo de comodidades gracias a los avances científicos y tecnológicos.

Gracias a la pluralidad de la mirada y a través de la observación –no es lo mismo ver que mirar, ni mirar que observar– los cuadros se enriquecen, cobran nuevos valores y emociones, renacen y se cargan de más sentido.

En la página web del museo, se puede acceder a imágenes de casi todas sus obras con una resolución suficiente como para conseguir buenas ampliaciones y realizar una observación minuciosa de determinados aspectos, que a veces se ven más claramente que ante el cuadro original colgado en el museo. Al igual que en otros sectores de la cultura, “*el acceso remoto electrónico a las obras de arte originales se esta convirtiendo en una necesidad*” (Maxwell L. Anderson).<sup>5</sup>

Un museo es un espacio donde tiene lugar el asombro, la sorpresa, la emoción, la imaginación, la admiración, la reflexión, donde hay cabida para juicios estéticos, apreciaciones subjetivas y objetivas. Didácticamente es posible plantear de manera pedagógica e interdisciplinar gran variedad de temas, para favorecer la comprensión de la realidad, pasando de lo figurativo a lo real y de lo literal a lo conceptual.

Actualmente, la participación en los museos se favorece mediante programas interactivos, es decir, a través de recursos mecánicos y electrónicos que suponen una involucración física y explícita del visitante con el tema expuesto, pero hay otra forma de interactividad que considera la importancia no solo de poner “manos a la obra” (*hands on*), sino también de poner “la mente en acción” (*mind on*).

El método propuesto para la optimización de los objetivos, está basado en una metodología que parte de las ideas previas de los estudiantes y el uso de las etapas del método científico, para llegar a la construcción de un aprendizaje significativo e

interdisciplinar. Esta metodología combinada permite que los estudiantes aprendan y retengan los contenidos curriculares de forma progresiva, experimental y relacional, asimilándolos con mayor profundidad, es decir comprendiendo lo aprendido, relacionándolo con conocimientos previos adquiridos y experimentando con ellos, dando la misma importancia a “cómo se aprende” que a “cómo se enseña”.

Como resultado de esta metodología combinada, el alumno aprende y asimila más fácilmente los nuevos contenidos, perduran más tiempo en su memoria y hace posible que establezca interconexiones con otros conocimientos y situaciones cotidianas.

Con el fin de implicar al mayor número de estudiantes, se organizó la exposición “*El Prado llega a Las Lagunas*”, integrada por quince reproducciones de obras maestras que recrean una sala del Museo del Prado (Figura 1), con la finalidad de mostrar las relaciones que se pueden establecer entre el arte y la química, además de con otras disciplinas que se imparten en el instituto (Física, Griego, Lengua, Plástica, etc.). En la actividad, el estudiante parte de un guión, con una información básica sobre cada obra, y de un cuestionario que tiene que responder como resultado de observaciones minuciosas.



**Figura 1.** Estudiantes analizando la “*Fragua de Vulcano*” de Velázquez durante la exposición “*El Prado llega a Las Lagunas*”.

## Arte y Química de la Iluminación

Desde la antigüedad, una de las principales aplicaciones del fuego ha sido su uso como fuente de luz. Durante siglos la Humanidad no dispuso de más medios para iluminarse que de antorchas, velas y lámparas de aceite y sebo. La antorcha, el medio más básico de iluminación, se usó desde finales del Paleolítico, estando formada por un combustible (aceite de oliva, grasa o aceite animal), al que a veces se añadía sal para evitar que se calentara demasiado y aumentar la luminosidad, y una mecha que solía ser de junco, fibras vegetales o pelo.<sup>6</sup> Algunas antorchas se representan en “*El prendimiento de Cristo*” pintado hacia 1500 por Francisco de Osuna, en otro lienzo del mismo título, pintado en 1620 por Antón van Dyck, en que el único punto de luz procede de una antorcha para así lograr una gran intensidad dramática, y en la “*Adoración de los Reyes Magos*” (1609-1628) de Pedro Pablo Rubens.

Las velas fueron un invento relativamente tardío, pues aparecieron en la Edad de Bronce. Han sido de uso común

en todo tipo de culturas y religiones durante miles de años, sin experimentar importantes modificaciones. Para generar más luz, los romanos crearon el candelabro, un soporte en el que podían colocarse varias velas o lámparas. Para la noche y el exterior, se disponía de faroles, que consistían en carcasas protectoras donde se introducían las velas. En el óleo de Giovanni Benedetto Castiglione, “*Diógenes buscando un hombre*” (1655), se representa al filósofo portando a plena luz del día una lámpara encendida buscando una persona honesta. En otro lienzo, “*Acto de devoción de Rodolfo I de Habsburgo*” (1630) de Pedro Pablo Rubens, un sacristán a caballo porta un farol acompañando a un sacerdote que lleva la eucaristía. Pero donde mayor dramatismo y tensión alcanza la luz emitida por un farol es en el óleo de Francisco de Goya y Lucientes, “*El tres de Mayo de 1808, o los fusilamientos en la montaña del Príncipe Pío*”, 1814.

Las velas empleadas como fuente de luz, individualmente o en candelabros, aparecen en numerosas obras expuestas en la pinacoteca, entre ellas: “*Degollación de San Juan Bautista y Banquete de Herodes*” (1630) óleo de Bartholomaeus Strobel “el Joven”, “*Fiestas del Ommegnack o Papagayo, en Bruselas*” (1616), de Denis Van Alsloot o “*La Cena de San Benito*” (siglo XVII) donde Fray Juan de Andrés Rizi representa una vela encendida en manos del santo, apreciándose zonas de la llama bien diferenciadas. Pero la mejor representación que muestra con gran realismo una llama, se encuentra en el “*La Descensión de la Virgen para premiar los escritos de San Ildefonso*” (1665) de Bartolomé Esteban Murillo (Figura 2); en ella se muestra a una anciana portando una vela prestada por los ángeles, que según la leyenda sagrada no quiere devolver para poder iluminarse en el tránsito de la vida terrenal hacia el reino de los cielos. Murillo ha representado la llama con zonas de diferente color (amarillo, naranja, azul), que están relacionadas con el grado de reacción con el oxígeno y con la temperatura. Se puede observar una zona externa apenas visible donde la combustión es completa porque hay más abundancia de aire; una zona media o luminosa, caracterizada porque la combustión es incompleta, formándose partículas de carbono sin quemar (hollín), que al estar incandescentes producen la luminosidad amarilla; una zona interna, situada alrededor de la mecha, que es oscura y contiene vapores del combustible de la vela sin quemar; y una zona exterior o azul, localizada en la base de la llama, donde se queman los gases completa y rápidamente, debido a la corriente de aire que asciende. La abundancia del oxígeno en esta zona permite la combustión completa de los hidrocarburos, con formación de agua y dióxido de carbono.

En los siglos XVI y XVII, la combustión de la cera era la forma más común de iluminación doméstica, del interior de oficios y del alumbrado público. Hoy en día, las velas todavía se siguen utilizando, ya sea en ceremonias religiosas, como objetos decorativos, en celebraciones festivas o en situaciones de emergencia cuando se produce un apagón.

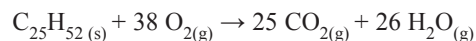
Para recalcar la importancia y valor de las observaciones cuidadosas, la ciencia se basa en ellas, el estudiante emplea materiales sencillos como velas (cera de abeja o parafina), lámpara de aceite, regla y cronómetro. A partir de diversas actividades, pone en práctica el método científico con el fin de analizar la veracidad de las llamas representadas en los cuadros seleccionados. Las actividades se inician con la elab-

boración de una vela a partir de una lámina de cera de abeja, seguida de la observación y descripción de las partes de la llama. A continuación, se compara la llama de una vela con la llama representada en el óleo de Murillo y con la llama de una lámpara de aceite. Finalmente, como observación cuantitativa, se utiliza una vela como instrumento de medida del tiempo, determinando la velocidad de combustión. Como resultado de las observaciones cualitativas y cuantitativas, y como consecuencia del análisis del proceso, surge otra actividad fundamental de la ciencia, “preguntar el por qué” para intentar explicar el proceso de combustión de una vela. Como el proceso realmente es más complicado de lo que parece a una observación superficial, es necesaria una explicación final y complementaria del proceso por parte del profesor.<sup>7</sup>



**Figura 2.** Estudiante en el laboratorio exponiendo sus observaciones sobre la combustión de una vela y la representada por Murillo.

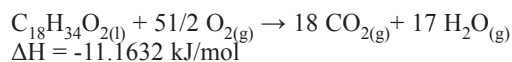
Las velas de cera de abeja y de sebo de grasa animal eran el medio tradicional más extendido de iluminación. El uso de las velas de sebo se generalizó a partir del siglo XV, a pesar de que desprendían malos olores y ennegrecían las paredes, estando las velas de cera natural reservadas para la Iglesia, los palacios y las casas señoriales. Las velas de cera natural están elaboradas con cera de abeja (*Apis Mellifera*), formada por más de 300 compuestos químicos, entre los que se encuentran: agua y minerales (1-3 %), monoésteres de ácidos céreos, diésteres y triésteres (71 %), hidrocarburos como pentacosano, heptacosano, nonacosano (11-14 %), ácidos céreos como neocerótico, montánico y melísico (14 %-15 %). Actualmente, las velas se elaboran con sustancias procedentes de la destilación del petróleo (parafina y estearina), de menor calidad pero también de menor coste. La reacción de combustión, para el caso de la parafina, constituida por pentacosano, es la siguiente:



Otra fuente de iluminación artificial, utilizada durante siglos, fueron las lámparas y lucernas de aceite de oliva o de nuez. Eran ya de uso común en el siglo V a.C., estaban hechas con terracota, latón, bronce o hierro, y disponían de una salida para la mecha de origen vegetal. El uso de esta forma de iluminación se inicia en la prehistoria por lo que se han usado durante miles de años hasta hace pocas generaciones. Están formadas por un recipiente sencillo que contiene un combustible y una mecha, para producir la luz de forma continua por

un periodo de tiempo. Una antigua lámpara de aceite de unos 100 mL producía más de 18 horas de luz. Las lámparas de aceite de oliva se utilizaron a lo largo del Mediterráneo hasta el siglo XIX, en que fueron sustituidas, sobre 1850, por el quinqué de queroseno. Uno de éstos puede verse iluminando el oscuro interior de la iglesia turolense de San Pedro, en “*Los amantes de Teruel*” (1884) de Antonio Muñoz Degraín.

En la obra de Francisco Ribalta, “*San Francisco confortado por un ángel músico*” (1620), aparece en un segundo plano, y sumergido en la oscuridad, un personaje que porta un candelil iluminado. Dentro del mismo cuadro, se puede observar otra pequeña lámpara de aceite en la mesilla del santo para iluminarse y poder leer en su celda. La luz de la lámpara de aceite es más brillante que la de la vela, y mucho más segura que otras opciones de iluminación mediante combustión, ya que si se vuelcan, se apagan. Las lámparas de aceite arden uniformemente, proporcionando una medida aproximada del tiempo y sirviendo como reloj, al igual que se hacía con las velas. El aceite de oliva utilizado era el de menor calidad por su olor y sabor (aceite lampante), y contiene un alto contenido en ácido oleico, además de otros componentes en menor proporción (ácido palmítico, ácido linoleico, tocoferoles, carotenoides, polifenoles, etc.). El ácido oleico es un ácido de fórmula molecular  $C_{18}H_{34}O_2$  y de fórmula semidesarrollada  $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$  (ácido *cis*-9-octadecenoico) con un bajo punto de inflamación de 189° C y un elevado calor de combustión; arde según la reacción:



Estos y otros ejemplos, muestran que la reacción química más aprovechada por el hombre es la combustión de la materia orgánica. Para su obtención se necesita la actuación de tres factores simultáneos: combustible, comburente y energía de activación. Este triángulo de factores puede observarse simbólicamente en la “*Fábula*” (hacia 1580) de El Greco, donde un joven trata de encender una candela avivando el fuego de un tizón. Este cuadro se interpreta desde una perspectiva moralizante, aludiendo al fuego como el deseo sexual que puede ser avivado por un pequeño soplo.<sup>8</sup> Desde la perspectiva química, el cuadro puede ser utilizado como muestra de los tres factores necesarios para que se inicie el fuego (Figura 3): la velita del personaje central representa al combustible, el soplido representa al comburente que aporta oxígeno, y el calor del ascua que porta en la mano izquierda, representa el tercer factor, la energía de activación.

Además del uso del fuego como fuente de luz, el estudiante puede encontrar numerosas representaciones de sus diferentes usos y aplicaciones, como por ejemplo: cocinar alimentos (“*Cristo en casa de María y Marta*”, 1568, de Joachim Beuckelaer), tratar los metales (“*Paisaje con ferreñas*” 1595, de Lucas van Valckenborch), mitigar los efectos de las bajas temperaturas (“*Santa Bárbara*”, 1438, de Robert Campin), cremación en las piras funerarias (“*Exequias de un Emperador Romano*”, de Giovanni di Stefano Lanfranco, y otro lienzo del mismo título pintado por Domechino, de 1636 y 1638, respectivamente), obtener nuevos materiales<sup>9</sup> (“*El alquimista*”, 1640, de David Teniers), condena y castigo a los herejes (“*Auto de Fe presidido por Santo Domingo de*



**Figura 3.** Profesor explicando a los estudiantes el triángulo del fuego a partir de “*La Fábula*” de El Greco.

*Guzmán*”, 1495, de Pedro Berruguete) y como castigo militar en tiempos de guerra<sup>10</sup> y asedio (“*La Rendición de Breda*”, 1635, de Diego Velázquez).

Entre los múltiples significados del fuego destacan: como elemento clásico griego, junto a la Tierra, el Aire y el Agua (“*La Abundancia y los Cuatro Elementos*”, 1606, de Jan Brueghel “el Viejo”), como elemento de destrucción (“*El Triunfo de la Muerte*”, 1562, de Pieter Brueghel “el Viejo”), representando el infierno (tabla derecha de “*El Jardín de las Delicias*”, 1505, de El Bosco), y el limbo, (“*Retablo del Arzobispo don Sancho de Rojas*”, 1420, de Juan Rodríguez de Toledo), como prueba de fuego (“*Santo Domingo y los albigenses*”, finales del siglo XV, de Pedro Berruguete), representando la iluminación del Espíritu Santo (“*Ordenación y primera misa de San Juan de Mata*”, finales del S. XVI y primer tercio del S. XVII, de Vicente Carducho), como milagro divino (“*Sepulcro de San Pedro Mártir*”, 1499, P. Berruguete), en ritos y sacrificios paganos (“*Ofrenda a Baco*”, 1720, de Michel-Ange Houasse) y en la mitología o alegorías (“*Prometeo trayendo el Fuego*”, 1637, de Jan Cossiers; “*Alegoría del fuego*”, 1700, A. Palomino y Velasco).

## Arte y Química de la Pólvora

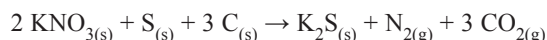
Uno de los materiales más importantes a lo largo de la historia es la pólvora. Su origen se remonta al siglo IX en China, con diferentes aplicaciones lúdicas y militares. En Europa, la pólvora fue reinventada (1250) por el monje y alquimista inglés R. Bacon y utilizada por primera vez en Occidente con fines bélicos por los árabes en 1.262 para defender la ciudad de Niebla (Huelva), regida por el musulmán Ibn Mahfot, del asedio y reconquista de Alfonso X el Sabio. La pólvora sustituyó a los ingenios que se utilizaban hasta entonces para la demolición de las defensas enemigas. La fabricación de pistolas, cañones y morteros (a través del desarrollo de la cámara de explosión), reducía la efectividad de los pesados escudos y de las fortificaciones de piedra.<sup>11</sup> El arte de la guerra basado en el enfrentamiento de caballeros armados con lanza y espada, y protegidos con casco y armadura, dejó paso, entre los siglos XV y XVI, al choque de grandes ejércitos cuyos cuerpos más importantes eran la infantería y la artillería, dotados de arcabuces y cañones de bronce, y no la caballería como ocurría hasta entonces.

Una muestra de arcabuces que utilizan la pólvora se encuentra en los retratos de tipo cinegético realizados por Diego Velázquez, ya que la caza era considerada una

actividad imprescindible en la formación de los monarcas y nobles: “Felipe IV en traje de cazador” (1635), “El cardenal infante Fernando de Austria” (1633) y “El príncipe Baltasar Carlos cazador” (1635). La pólvora era la mezcla más común para impulsar los proyectiles de estas armas, pero antes debía comprimirse con una baqueta y para producir el disparo se encendía una mecha. Se necesitaba tiempo para preparar la munición, comprimirla y dispararla, como se muestra en el cuadro de Francisco de Goya y Lucientes “Cazador cargando su escopeta” (1775). Durante la muestra “Goya en Tiempos de Guerra” (Museo del Prado, 2008), se expusieron dos óleos de este pintor, pertenecientes al Patrimonio Nacional, relacionados con la elaboración de esta mezcla, ambos de entre 1810 y 1814: “La Fabricación de pólvora”, donde unos hombres se afanan en machacar, en morteros de madera, la mezcla de salitre, azufre y carbón hasta convertirla en polvo y “La Fabricación de balas”, en la que se observa cómo funden plomo en una hoguera y lo vierten en moldes para obtener balas, escondidos en la Sierra de Tardienta (Zaragoza), tierra famosa por la calidad de su pólvora desde mediados del siglo XV hasta mitad del XIX.

Las mezclas como la pólvora, basan su efecto químico en reacciones de oxidación y reducción. La sustancia que actúa como agente oxidante (nitrato de potasio-salitre) proporciona el oxígeno necesario para la combustión rápida del combustible (carbón vegetal y azufre), que actúa como agente reductor. Al aplicar calor mediante la mecha, se produce una reacción de transferencia de electrones, los átomos del combustible ceden electrones a los átomos del oxidante y se combinan con el oxígeno de manera que los nuevos enlaces que se forman son más estables que los iniciales y por ello se libera energía en forma de luz y calor. En la reacción se genera gas caliente, con un volumen unas 400 veces mayor al inicial.

La composición de la pólvora negra, prácticamente ha permanecido inalterada a lo largo de los siglos, está constituida por 75 % de nitrato de potasio, 15 % de carbón vegetal y 10 % de azufre. Variando las proporciones de comburente y combustibles puede regularse la velocidad de la combustión. Si se aumenta la proporción de carbón, se obtiene una pólvora un poco más lenta en su combustión. La pólvora se inflama a la temperatura de 300 °C, ardiendo rápidamente mediante una aportación moderada de energía (chispa o mecha encendida). Cada gramo de pólvora produce, al quemarse, 1360 Julios en forma de calor. La temperatura de los gases liberados (2500 °C-3500 °C) la sitúa en la categoría de las “deflagraciones”, combustiones en que la velocidad de la llama es menor que la velocidad del sonido. Solo explota si se la comprime fuertemente en un recipiente herméticamente cerrado debido a la violenta formación de gases calientes en expansión, según la reacción:<sup>12</sup>



En el Museo del Prado, se muestran acciones bélicas “a cañonazos”; como el cuadro de Francisco de Zurbarán, “Defensa de Cádiz frente a los ingleses” (1634), que representa la batalla entre las flotas españolas e inglesa, “La recuperación de San Juan de Puerto Rico” (1535), de Eugenio Cajés, conmemorando la defensa de la bahía ante el ataque

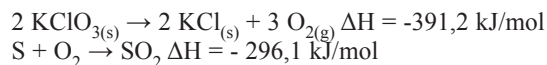
de una escuadra holandesa, que al incendiar la ciudad motivó la salida de la guarnición española, que les forzó a reembarcar y huir. Pintadas por Vicente Carducho, en 1634, son las pinturas: “Victoria de Fleurus”, “Socorro de la plaza de Constanza” y “Expugnación de Rheinfelden”. La primera, representa la batalla librada cerca de Bruselas, entre tropas católicas y protestantes. La segunda, la liberación de la plaza suiza del sitio a que estaba sometida por las tropas suecas. Y la tercera, el asalto a la ciudad suiza por las tropas del duque de Feria, con soldados penetrando por las brechas abiertas por los cañonazos en la muralla.

De una manera casi abstracta, en el cuadro de Velázquez, “El Bufón llamado Don Juan de Austria” (1632), se representa la Batalla naval de Lepanto y el efecto destructivo de la pólvora y el fuego. En el mismo cuadro se aprecian diferentes pertrechos de guerra (munitiones, armas, armaduras, etc.). En la exposición temporal (verano 2010) sobre W. Turner, se expuso en el museo la elocuente “Batalla de Trafalgar”, que representa la batalla naval en que los ingleses lograron el control del mar frente a las tropas españolas y napoleónicas. En los cañones, las balas de metal eran proyectadas por la expansión de los gases originados en la combustión de la pólvora, impactando contra los barcos enemigos para romper el velamen y evitar que huyeran, provocando incendios y vías de agua, lo que culminaba en su posterior hundimiento, o cuando alcanzaban el barco, en realizar el abordaje con pistolas y mosquetes. Todo ello rodeado de una gran humareda reinante como consecuencia de las partículas de carbono formadas durante la batalla.

La pólvora tiene múltiples aplicaciones de carácter civil (excavar minas, perforar túneles, demoler edificios, extintor pirotécnico, etc.) e incluso de carácter lúdico, como los espectaculares fuegos artificiales que alegran tantas fiestas y festivales de todo el mundo y que tuvieron gran aceptación en las cortes europeas del Barroco.

Algunas sencillas experiencias en que se muestran los efectos y aplicaciones de los componentes de la pólvora, utilizando con precaución muy pequeñas cantidades, junto a guantes y gafas de protección para que sean seguras, se resumen a continuación:

- Agente propulsor: se utiliza un tubo de ensayo en cuyo interior se coloca una pequeña cantidad de nitrocelulosa (algodón pólvora o pólvora sin humo) que presenta un calor de explosión, por kilogramo, de 4577 kJ. Al cerrar el tubo con un tapón de goma y calentar su base durante unos segundos, por efecto de la combustión se produce una liberación de gases calientes (nitrógeno, óxidos de carbono y vapor de agua) que impulsa el tapón a varios metros.<sup>13</sup>
- Agente explosivo: sobre una piedra, se añade un poco de azufre y de nitrato o clorato de potasio.<sup>14</sup> Una vez bien mezclados los reactivos, se toma una muestra que no supere 0,1g y se golpea con un martillo, originándose una pequeña explosión como consecuencia de las siguientes reacciones:



- Agente extintor: en el interior de una cápsula de policarbonato (polímero resistente a los impactos y a elevadas temperaturas) se introducen varias velas encendidas

junto a un pequeño petardo de clase II.<sup>15</sup> Al encenderlo y explotar, debido a los gases liberados que desplazan al oxígeno, se apagan las llamas de todas las velas. Sustituyendo las velas por una maqueta de un pequeño edificio, se comprueba la utilidad de la pólvora en demostraciones controladas (Figura 4).



**Figura 4.** Experiencias en el laboratorio de química con pólvora en el interior de una cápsula de seguridad fabricada con policarbonato.

## Arte y Ciencia de los Metales

La ciencia, la química y la tecnología han crecido entrelazadas. Han sido, son y serán de vital importancia en el desarrollo de la sociedad. En un principio se puede decir que fue primero la tecnología, al emplearse los recursos de la naturaleza, sin una comprensión adecuada de las leyes que la rigen. Los primitivos sólo utilizaban materiales fáciles de manipular, cortar, afilar, como los huesos, piedras y madera. El uso de los metales supuso un gran avance en la civilización, al ser resistentes, transformables en objetos cortantes y punzantes, y no alterables con el tiempo. La fragua es uno de los primeros métodos con los que se trabajó el metal. Hasta hace pocas décadas, en casi todos los pueblos, había una fragua, porque la actividad de los herreros era de gran importancia. El trabajo en la fragua consiste en calentar el metal al rojo vivo en un hogar abierto construido con materiales refractarios, y después golpear el hierro candente sobre un yunque para modificar su forma, sin sufrir ruptura, a golpe de martillo. Este cambio se produce por resbalamiento a lo largo de planos deslizantes. Cuando un átomo se desplaza se origina una falla (dislocación) en la estructura, de manera que el átomo contiguo se mueve para ocupar dicho espacio y deja libre su emplazamiento original; esto es, los átomos se mueven sucesivamente hasta que se desplaza una fila completa.<sup>16</sup>

En todas las pinturas que representan una fragua aparece un prisma de hierro acerado (yunque) encajado en un tronco de madera sobre el que el herrero trabaja los metales mediante una tenaza a golpe de martillo (mazo grande o macho). Debido a las propiedades mecánicas de los metales, puede resistir los golpes e impactos sin romperse (tenacidad) y soportar esfuerzos de compresión para formar láminas (maleabilidad). Un yunque de menor tamaño era utilizado por los orfebres, artesanos encargados de tratar láminas de oro y plata para

decorarlas con piedras preciosas y gemas. Con estos materiales realizaban objetos que simbolizaban poder y riqueza: coronas, báculos, cetros, cálices, joyas, etc.<sup>17</sup> En la tabla “San Eloy en el taller de orfebrería” (1370), del Maestro de la Madonna della Misericordia, se desarrolla el momento en que el santo, junto a otros oficiales, cincela una pieza de oro, detrás, un aprendiz golpea sobre un yunque con su martillo.

El museo posee excelentes representaciones de fraguas para tratar el hierro, tres de ellas alusivas a Vulcano, identificado con el oficio de herrero. La primera, “*Fragua de Vulcano*” (1585) de Jacopo Bassano, mostrando los instrumentos que utiliza y los materiales que se elaboran: instrumentos para oficios, herramientas y útiles caseros como sartenes, cazos, platos, cubiertos, realizados con diferentes aleaciones, como acero, bronce y peltre. La segunda, de Diego Velázquez “*La fragua de Vulcano*” (1630), en el que los elementos luminosos calientes son un trozo de metal al rojo que Vulcano sujeta sobre el yunque y la llama de la chimenea.<sup>18</sup> En ambas obras, se puede observar cómo por uno de los extremos del horno se fuerza manualmente la introducción de aire mediante un gran fuelle. Aire que proporciona el oxígeno necesario para que el combustible vegetal alcance la temperatura suficiente para trabajar el hierro. La tercera, de Pedro Pablo Rubens, “*Vulcano forjando los rayos de Júpiter*” (1638), con el hijo de Júpiter y Juno en la forja ayudado por el gigante Cíclope. En otra obra de Rubens, “*El Tacto*” (1617), un grupo de herreros, moldea los metales para convertirlos en cañones, armas y armaduras de guerra.

Entre todas, la fragua de Velázquez, es la que mejor permite analizar la relación entre la temperatura a la que se encuentra un material metálico con la energía irradiada y la longitud de onda emitida. Mediante un sencillo experimento, podemos comprobar esta relación. Si sujetamos un clavo de hierro con unos alicates y lo acercamos a la llama de un mechero, se observa cómo el metal va tomando diferentes tonalidades. A temperatura ambiente, el clavo muestra un color gris, al calentarse va tomando una tonalidad rojiza hasta llegar a un color casi amarillo. Para comprender este fenómeno se recurre al modelo físico llamado cuerpo negro (el que absorbe todas las radiaciones que le llegan). Aunque el clavo no es propiamente un cuerpo negro, su comportamiento se aproxima.

Las leyes físicas que relacionan la emisión de energía con la temperatura del cuerpo negro son dos.<sup>19</sup> La ley de Stefan-Boltzmann, enunciada por los austriacos Josef Stefan (1835-1893) y Ludwig Boltzmann (1844-1906), según la cual la energía irradiada por un cuerpo negro es proporcional a la temperatura absoluta a la que se encuentra elevada a la cuarta potencia. Esto significa que un pequeño aumento de la temperatura se traduce en un gran aumento de la luminosidad. Y la ley de Wien, enunciada por el físico alemán y premio Nobel en 1911 Wilhelm Wien (1864-1928), que afirma que el producto de la longitud de onda a la que se irradia la máxima energía multiplicada por la temperatura absoluta es constante.

El hierro, a temperatura ambiente, emite radiación infrarroja, como se puede detectar por diferentes medios, como por ejemplo por una cámara de visión infrarroja o mediante un radiómetro de Crookes, pero nuestros ojos no son capaces de percibirla, por lo que observamos su color característico (gris oscuro), pero conforme se calienta, la longitud de onda

emitida se aproxima a la zona del espectro visible, por el lado del color rojo, y el hierro adquiere una tonalidad anaranjada, como corresponde a ondas más cortas, conforme a la ley de Wien: al aumentar la temperatura, la longitud de onda emitida se va haciendo más corta.

Durante muchos siglos los metalúrgicos y los herreros aprendieron empíricamente, a calcular las temperaturas de los metales que forjaban a partir del color del metal con bastante exactitud. Algunos procesos para forjar espadas requieren de una tolerancia de pocos grados, que los forjadores eran capaces de determinar mediante el color del acero.

El hierro fue el último metal que se consiguió fundir en la antigüedad porque su temperatura de fusión es bastante elevada, 1540° C. Con los medios de los que disponían, no podían obtener valores muy elevados de temperatura ni, como consecuencia, observarse colores más allá del rojo cereza, sobre 800° C; para compensar esta deficiencia era necesaria la fuerza muscular del herrero. Si bien los metales (cobre, bronce, hierro) se han utilizado desde la prehistoria, es en la segunda mitad del siglo XVIII, durante la revolución industrial, cuando realmente el hierro y los metales adquieren una especial importancia en la sociedad, que ha perdurado hasta nuestro siglo.



**Figuras 5 y 6.** Comprobación de propiedades mecánicas del hierro en una fragua tradicional.

La visita a una fragua tradicional es una interesante actividad extraescolar donde el estudiante puede comprobar experimentalmente el efecto de la temperatura sobre los metales y de cómo influye en sus propiedades mecánicas (Figuras 5 y 6).

## La Alquimia en el Prado

En la antigüedad, existían numerosas preguntas e incógnitas sobre la naturaleza que no tenían respuesta ni aparente explicación. Para intentar resolver algunas de ellas aparecieron los alquimistas, como Alberto Magno (1193-1280) y Roger Bacon (1220-1292), que combinaban elementos de diferentes conocimientos (metalurgia, medicina, astrología, misticismo, ocultismo, filosofía, etc). Los alquimistas europeos centraron sus trabajos en dos objetivos que representaban la obtención de la riqueza espiritual y material: la búsqueda del elixir de la vida, que proporcionase la inmortalidad, y la búsqueda de la piedra filosofal, que permitiría la transformación de los metales en oro. A pesar de lo imposible de su búsqueda, gracias a sus trabajos se descubrieron nuevas sustancias, técnicas y procesos relativos a la separación y purificación de sustancias.<sup>20</sup> Entre otros avances, mejoraron notablemente la técnica de la destilación para obtener esencias, proceso que puede observarse en los perfumistas representados en el jardín de la obra de Pedro Pablo Rubens “*El olfato*” (1617).

Aunque la actividad alquimista se caracterizaba por su gran secretismo, a mediados del siglo XVI, en algunos mercados europeos, aparecen falsos alquimistas, charlatanes de feria, pícaros y farsantes, que congregaban a curiosos e ingenuos para ofrecer elixires de la juventud y curaciones milagrosas. En la obra “*El Cirujano*” de Jan Senders van Hemessen (1550), se representa satíricamente a un impostor que extrae la piedra de la locura de la cabeza de un incauto.

La pinacoteca del Prado almacena dos obras que reflejan el trabajo de los alquimistas en el interior de sus laboratorios. Por un lado, “*El alquimista*” obra de David Ryckaert (1512-1661), como reflejo de la curiosidad de la época por esta actividad oculta, representando a un alquimista rodeado de libros en pleno trabajo, y por otro, con intención crítica en la obra de David Teniers (1610-1690), ridiculizando la afanosa búsqueda de la piedra filosofal como una práctica supersticiosa y absurda, mostrando un alquimista tocado con su característico gorro, avivando el fuego, factor fundamental en su trabajo, y rodeado de alambiques y diversos instrumentos (Figura 7). El fuelle, empleado para elevar la temperatura del fuego del horno, nos recuerda por qué se solía llamar “sopladores” a los alquimistas. La alquimia tiene sus orígenes en los oficios prácticos de la Antigüedad. En esencia es un arte de transformación que aportó conocimientos para empezar a comprender los cambios que provocaban en los materiales la acción del fuego, el agua, el aire, los vapores y el tiempo. Estos cambios solían ir acompañados de una alteración del color, de modo que no es extraño que suministrasen colores artificiales a los pintores.<sup>21</sup>

En su obra fundamental, “*The Sceptical Chymist*” (“El Químico Escéptico”, 1661), Robert Boyle, subraya las diferencias entre los “experimentales prácticos” –los “sopladores”, cuyos cerebros, estaban “oscurecidos por el humo de sus hornos”– y los “adeptos teóricos”, grupo formado por

gente sería que no admite a charlatanes, afirma Boyle, quien no tenía muy buena opinión de los alquimistas. Si bien otras ramas de la ciencia ya estaban asentadas, no fue hasta el siglo XVIII, con la aparición de la química moderna basada en los trabajos experimentales de Antoine Lavoisier (1743-1794), cuando se dieron respuestas cuantitativas y científicas a la “transmutación” de los materiales.

A pesar de que en el siglo XXI puedan parecer superadas ciertas ideas pseudocientíficas, todavía se encuentran muchos casos que se aprovechan de la falta de cultura científica de los ingenuos. Son numerosos los programas y anuncios de televisión y prensa que ofrecen servicios astrológicos, tarotistas, adivinos, productos mágicos curativos (biomagnetismo) y milagrosos adelgazantes, etc., lo que hacen pensar en la necesidad de una educación preventiva desde los primeros niveles de enseñanza para hacer frente a este tipo de embaucadores, que cuentan con gran número de adeptos a juzgar por su proliferación. A título de ejemplo, en la sección de librería de la cadena de grandes almacenes más famosa de España, el espacio dedicado a esoterismo y ciencias ocultas es más del doble que el dedicado a libros de ciencia. Como aplicación educativa, se plantea al alumnado la indagación en diversos medios de comunicación, de información de carácter pseudocientífico, para a continuación realizar un análisis de su veracidad basándose en leyes científicas actuales.

Siguiendo la secuencia instructiva, se proponen a los estudiantes dos actividades didácticas de búsqueda y análisis, en el propio museo o a través de su página web. Por un lado, de obras maestras en que aparezcan situaciones paracientíficas (brujería, talismanes, actos milagrosos, etc.), y por otro, representaciones relacionadas con instrumentos de medida. De entre estos, especialmente de la balanza (del latín; *bis*, dos, *lanx*, plato), cuya introducción en la metodología de la química supuso una revolución para esta ciencia, de la mano de Antoine Lavoisier al someter todos los resultados de sus experimentos a la medida, el cálculo y la balanza. Esto le permitió enunciar, entre otros descubrimientos, la fundamental ley de Conservación de la Masa (1774), fundamental para el nacimiento y progreso de la química.<sup>22</sup> Hasta ese momento, este antiguo instrumento, cuyo origen se remonta a los inicios de la civilización humana, solo había sido empleado para transacciones comerciales y usos artesanos. Como es el caso de los trabajos de orfebrería, que se muestran en “*San Eloy ante el Rey Clotario*” (1370) del Maestro de la Madonna della Misericordia, o de las actividades financieras, que aparecen en “*El cambista y su mujer*”



**Figura 7.** Experimentando con un fuelle: “El Alquimista” de David Teniers.

(1539) de Marinus van Reymerswaele, donde el banquero mide la masa (peso) de las monedas para comprobar si han sido raspadas o recortadas, costumbre de esa época. Incluso los alquimistas, no se habían preocupado demasiado del aspecto cuantitativo en sus experiencias, haciendo más énfasis en el aspecto cualitativo: por ello la balanza no es un instrumento que aparezca normalmente en sus representaciones artísticas.

Ejemplos bien distintos, por su carácter simbólico: la balanza que aparece en “*Vieja usurera*” (1638) de José de Ribera, que representa el vicio de la avaricia, y la del retablo “*Santo Domingo de Silos entronizado como obispo*” (1475), de Bartolomé Bermejo, que simboliza la justicia, la imparcialidad y la equidad.

## Conclusiones

*“La divulgación científica es un arte”*

(Federico Mayor Zaragoza. Ex-Director UNESCO).

Para un profesor, progresar es trabajar por el futuro de los estudiantes, promoviendo y organizando actividades que completen su formación como personas. El novelista Marcel Proust, decía que “*el auténtico viaje de descubrimiento no consiste en buscar nuevos países, sino en ver con nuevos ojos*”. Esto también se puede aplicar a la búsqueda de recursos didácticos para motivar y formar a los estudiantes.

Esta nueva y enriquecedora forma de enfocar la ciencia, despierta la admiración y aumenta la curiosidad por los logros de los seres humanos que han vivido otras épocas. Como consecuencia, los estudiantes de química adquieren una base artística junto a la científica, y consideran el arte como parte importante en su formación, convirtiendo a los futuros científicos en más humanistas.

Fruto del interés mostrado por profesores y alumnos, el proyecto fue seleccionado por un comité de expertos y se presentó como ponencia en el auditorio del museo durante el “*I Encuentro entre el Profesorado*” (abril de 2010), organizado por el Área de Educación del Museo Nacional del Prado y avalado por el Ministerio de Educación, destinado a los profesionales de la educación de toda España, con el objetivo de difundir en un ámbito profesional la labor educativa de los docentes, sus recursos, planteamientos, objetivos, metodología y contenidos en torno a las colecciones de la pinacoteca. En dicha ponencia, se mostró cómo el museo puede servir como novedoso recurso didáctico para los departamentos de física y química de centros preuniversitarios, y de la conveniencia para el propio museo de abrir nuevas ventanas didácticas, organizando actividades que relacionen la ciencia y el arte, hasta la fecha, prácticamente inexistentes.

Más allá de este importante museo y de la química, las relaciones entre arte y ciencia se pueden establecer en otras pinacotecas (Tyssen-Bornemisza, National Gallery, Louvre, etc.) y con otras disciplinas científicas (física, biología, etc) y tecnológicas.

En el panel informativo de acceso al Museo del Prado aparece escrito que se ofrece acceso gratuito a los profesores de enseñanzas relacionadas directamente con el contenido del museo. A la vista de las conclusiones expuestas, sería conveniente modificar esta norma y ampliarla a todo el profesorado para ir rompiendo fronteras epistemológicas.



## Agradecimientos

A los profesores y estudiantes del IES Las Lagunas que han participado en el proyecto. Al Ayuntamiento de Rivas por la subvención concedida para realizar la exposición “*El Prado llega a Las Lagunas*”. Al departamento didáctico del Museo del Prado por seleccionar el trabajo para ser expuesto durante el “*I Encuentro entre el profesorado*” (abril de 2010).

Se agradece la concesión del premio “SALVADOR SENENT”, 3ª edición, otorgado por el Grupo de Didáctica e Historia de la Física y la Química de las Reales Sociedades Españolas de Física y Química, y patrocinado por el Foro de la Industria Nuclear Española (julio de 2011), al presente trabajo.

## Bibliografía

1. M. Matteini, A. Moles. *La Química en la Restauración. Los materiales del arte pictórico*. Ed. Nerea. Donostia-San Sebastián. **2009**, pp. 19–26.
2. C. Garrido. “*El trazo oculto. Dibujos subyacentes en las tablas del Museo del Prado*”. Edición Museo del Prado. **2006**.
3. D. Bertani. “*El nacimiento de una pintura. De lo visible a lo invisible*”. Generalitat Valenciana. **2010**, pp. 40–47.
4. [www.museodelprado.es](http://www.museodelprado.es)
5. P. Montebello. *El Museo hoy y mañana*. Cátedra del Museo del Prado. A. Machado Libros. **2010**, pp. 134–158.
6. B. Fagan. *Grandes Inventos y Descubrimientos del Mundo Antiguo*. Ed. Blume. **2004**, pp. 76–78.
7. J. Davis. *Química. Una Ciencia Experimental*. Editorial Reverté. Barcelona. **1975**, pp. 37–45.
8. A. Pancorbo. *Guía del Prado*. Editada por el Ministerio de Cultura. **2009**, 57.
9. L. Iñigo. *Alquimia*. Ed. Nautilus. Madrid. **2010**, pp. 30–31.
10. J. Baroque. *La vida cotidiana en la Edad Media*. Dastin Ed. **2007**, 36.
11. J. Callejo. *Secretos Medievales*. Plaza Edición. Temas de Hoy. Madrid. **2006**, pp. 36–40.
12. R. Chang. *Química*. 6ª Edición. McGraw-Hill. **1999**, 820.
13. H. V. Roesky, K. Möckel. *Chemical Curiosities*. Ed. VCH. Germany. **1996**, pp. 298–299.
14. B. Z. Shkhashiri. *Chemical Demonstrations*. Vol I. The University of Wisconsin Press. Wisconsin. **1983**, pp. 43–45.
15. Real Decreto 563/2010, de 7 de Mayo, por el que se aprueba el Reglamento de Artículos Pirotécnicos (BOE 113 de 8/5/2010). Sec. I Art. 141.
16. L. Pauling. *Química General*. Ed. Aguilar. Madrid. **1977**, pp. 568–569.
17. J. Cherry. *Orfebres. Artesanos Medievales*. Ediciones Akal. Madrid. **1999**, pp. 24–32.
18. A. Domínguez, A. Pérez, J. Gallego. *Velázquez*. Ministerio de Cultura. Museo del Prado. **1999**, pp. 158–162.
19. J. Catalá. *Física General*. Ed. Saber. Valencia. **1980**, pp. 786–787.
20. S. Esteban. *La Química en el Renacimiento*. *An. Quím.* **2004**, 100 (3), 60–66.
21. P. Ball. *La Invención del Color*. Turner. Fondo de Cultura Económica. Madrid. **2003**, pp. 100–102.
22. I. Pellón. *Lavoisier y la Revolución Química*. *An. Quím.* **2002**, 98 (2), 40–49.



## XII Congreso Nacional de Materiales IBEROMAT XII

Universidad de Alicante  
Días 30 y 31 de Mayo y 1 de Junio de 2012  
<http://web.csidiomas.ua.es/congresos/CNMIM/index.html>



9<sup>th</sup> Spanish-Italian Symposium  
on Organic Chemistry  
**SISOC-IX**  
Tenerife  
February 10<sup>th</sup>-14<sup>th</sup> 2012  
<http://sisoc9.ull.es/>