

En el Bicentenario de la fundación del Museo Nacional del Prado (II)

Aspectos químicos de algunas pinturas relacionadas con la Historia de la Química

José Pastor Villegas y Jesús Francisco Pastor Valle

Resumen: El Bicentenario de la fundación del Museo Nacional del Prado de Madrid se ha celebrado en 2019. En este trabajo, como una continuación de otro previo, tratamos las aportaciones de la Química a la Pintura. Asimismo, comentamos algunas de las pinturas de la colección del mundialmente famoso museo relacionadas con la Historia de la Química.

Palabras clave: Museo Nacional del Prado, Química pictórica, Historia de la Química.

Abstract: The Bicentennial of the founding of the Museo Nacional del Prado in Madrid was celebrated in 2019. In this work, as a continuation of a previous one, we deal with the contributions of Chemistry to Painting. We also comment on some of the paintings in the collection of the world-famous museum related to the History of Chemistry.

Keywords: Museo Nacional del Prado, Pictorial Chemistry, History of Chemistry.

INTRODUCCIÓN

Tras la Guerra de la Independencia (1808-1814), el rey Fernando VII, (San Lorenzo de El Escorial, 1784 – Madrid, 1833),^[1] decidió el 2 de marzo de 1819 reparar el magnífico edificio de la *non nata* Real Academia de Ciencias Naturales de Madrid, siendo los costes de su cargo, para reunir en él las Ciencias y las Artes.^[2] El 19 de noviembre de 1819 se inauguró el Real Museo de Pinturas,^[3] sin reunir Ciencias experimentales y Artes; el rey asistió con la reina María Josefa Amalia de Sajonia (Dresde, Alemania, 1803 – Aranjuez, Madrid, 1829),^[4] su tercera esposa, llegada poco antes. En el bello edificio (Figura 1), se pudieron observar cada miércoles las 311 pinturas de la Colección Real en tres salones (154 en el primero, 136 en el segundo y 21 en el tercero), todas de autores españoles.^[5]

La denominación oficial actual Museo Nacional del Prado (MNP) data de 1920, formado por las obras procedentes de los antiguos Museos del Prado y de la Trinidad y las adquisiciones hechas hasta entonces, así como las que en adelante se adquiriesen legalmente.^[6]

Corriendo el siglo XXI, la Química sigue siendo “la ciencia central” por favorecer los avances en otras áreas científicas.^[7] José Elguero Bertolini, presidente del Foro Permanente Química y Sociedad en 2009, recordó la importancia de la Química.^[8]

La química es quizá la ciencia que más ha hecho por la humanidad, la que más avances ha contribuido al bienestar y la calidad de vida que disfrutamos, pero en general, no se es consciente de ello. Y esto es así porque muchas veces las investigaciones químicas posibilitan el desarrollo, pero del producto final, que es lo que llega a la sociedad, se encargan otros sectores como la medicina, la ingeniería y otros. Y sin embargo, lo cierto es que el esfuerzo de los químicos en su conjunto (científicos, investigadores, docentes, empresarios y trabajadores) ha permitido los avances logrados en áreas de vital importancia como la salud, la alimentación, la higiene, el transporte, el vestido, la cultura o las nuevas tecnologías.

En 2011 fue conmemorado el Año Internacional de la Química declarado por la UNESCO, en el que se insistió que tiene la consideración de ciencia central y que su ámbito es universal.^[9]

Concerniente a la cultura, la contribución de la Química a las Bellas Artes se enfatizó con una triple faceta en un curso sobre Historia de la Química:



J. Pastor Villegas¹



J. F. Pastor Valle²

Avda. de España 22, bl.1 3A, 10001 Cáceres

¹ C-e: josepastorvillegas@gmail.com

² C-e: jesusfpv@hotmail.com

Recibido: 13/12/2020. Aceptado: 20/02/2021.



Figura 1. Vistas de las fachadas norte (hoy, de Goya) y principal (hoy, oeste o de Velázquez) del edificio del MNP de Madrid (hoy, edificio Villanueva). Fuente: “Vista del Museo del Prado”, de Carlos de Vargas Machuca, dibujo (papel agarbanzado sobre cartulina, tinta y aguada gris), 1824. Madrid, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, A-5415

- Material y métodos.
- Ayuda al estudio de obras de arte antiguas.
- Resolución de problemas relacionados con la “patología” y con la conservación y restauración.^[10]

En el siglo en curso, se ha organizado el Área de Restauración del MNP con los ya existentes servicios (Taller de Restauración y Gabinete de Documentación Técnica) y el incorporado Laboratorio Químico; los servicios segundo y tercero han aportado información a conservadores y restauradores al evaluar los daños de las obras, conocer los materiales originales y los añadidos, examinar las técnicas artísticas, documentar restauraciones anteriores para optar por el mejor tratamiento, y aportar información en estudios históricos y documentales.^[11]

En 2019 se ha celebrado el bicentenario de la fundación del MNP, al que pertenecen miles de pinturas. La importancia de una pintura reside en el contenido expresivo que transmite. Menos conocido es el aspecto material de cada pintura desde la elaboración hasta la conservación y restauración.

Pues bien, el presente trabajo, como una continuación de la primera parte, tiene un carácter interdisciplinar. Comentamos las aportaciones de la Química a la materia pictórica y algunas pinturas del MNP relacionadas con la Historia de la Química.

LA PINTURA COMO SISTEMA MATERIAL

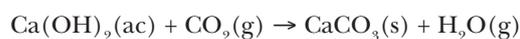
Pedro Gutiérrez Bueno en su discurso de apertura del Real Laboratorio de Química de Madrid señaló en 1788 que “Ella [La Química] dio al Pintor los materiales con que la superficie de una tabla o de un lienzo abulta los seres, emula los milagros de la naturaleza, y retrata sus obras, tal vez mejorándolas”.^[12]

Hoy, desde la Química, se puede decir que una pintura es un sistema material heterogéneo formado por un soporte sólido blanco o coloreado (preparación); por capas pictóricas muy finas compuestas esencialmente de un

colorante disuelto o pulverizado (pigmento) que se aplicó disperso en un líquido transparente y homogéneo (aglutinante); y por películas protectoras que en la mayoría de los casos son resinas transparentes (barnices). Los pigmentos determinan principalmente el color porque aglutinantes y barnices son transparentes y casi incoloros (no absorben selectivamente las radiaciones de la luz blanca).^[13]

Los pigmentos se clasifican en blancos, violetas, azules, verdes, amarillos, rojos y naranjas, pardos, negros y metales. En cada clase son numerosos: elementos químicos, compuestos químicos y mezclas.

Dependiendo del aglutinante, se distinguen tradicionalmente diferentes técnicas pictóricas: temple, óleo, mixta o de transición, y técnica con aglutinantes poliméricos sintéticos. A diferencia de las técnicas que utilizan un aglutinante para vehicular el pigmento y fijarlo al soporte, en la pintura mural al fresco los pigmentos se aplican en una suspensión de agua pura y son aglutinados o fijados por la reacción química de carbonatación del hidróxido de calcio del enlucido ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, cal apagada) con el dióxido de carbono atmosférico (CO_2), es decir, por el carbonato de calcio formado (CaCO_3):



Dichas estas generalidades, añadimos que la durabilidad de una pintura o de una obra de arte en general es asunto complejo porque como sistema material heterogéneo no aislado que es (intercambia materia y energía con el exterior) dependerá de los materiales que la componen y del medio ambiente.

A título de ejemplo, se comenta brevemente la composición y estructura de la *Fragua de Vulcano*, óleo sobre lienzo de Diego Rodríguez de Silva y Velázquez (Sevilla, 1599 – Madrid, 1660),^[14] conocido como Velázquez, pintura muy famosa del MNP. Nos dice la *Guía del Prado* más reciente que la pintura (Figura 2) fue realizada en el primer viaje del pintor a Italia (1629-1630), mostrando



Figura 2. *La Fragua de Vulcano*, óleo sobre lienzo (Alto: 223 cm; Ancho: 290 cm), de Velázquez, 1630. Fuente: MNP, núm. catálogo P1171, Sala 011; fotografía para uso personal

el lienzo una escena compleja en un escenario de gran verosimilitud, en la que Apolo (dios romano de la poesía y de la música, con corona de laurel y túnica anaranjada) visita la fragua de Vulcano (dios romano del fuego y protector de los herreros) para contarle que su esposa Venus (diosa romana de la belleza) le ha engañado con Marte (dios romano de la guerra), noticia que produce en quienes la escuchan incredulidad y sorpresa. Y que no faltan los materiales de trabajo de las fraguas, como son la armadura, las herramientas y el hierro al rojo sobre el yunque calentado antes en el hogar.^[15]

Las fraguas, además de haber sido talleres del Viejo Mundo donde se elaboraban los utensilios metálicos domésticos (braseros, calderos, etcétera), aperos de labranza (rejas de arado, palas, etcétera), fueron también un lugar de reunión frecuente de los hombres en donde hablaban de asuntos diversos, principalmente de asuntos cotidianos. Varios artistas han pintado fraguas que se conservan en el MNP. Sin embargo, la Figura 2 ilustra una escena síntesis de lo humano y de lo divino en el tratamiento térmico del hierro: elaboración de piezas metálicas y mitología.

La *Fragua de Vulcano* ha sido estudiada aplicando, entre otras, técnicas químicas.^[16] Mediante una radiografía general del cuadro se han mostrado cambios, siendo el más significativo de ellos la figura de Vulcano; todos debidos a la mano del pintor al elaborar el cuadro. El soporte se compone de cuatro trozos de lienzo: rectángulo central de aproximadamente 223 x 257 cm, dos tiras delgadas verticales a la izquierda (de 9,5 a 10,5 cm y de 12 a 14 cm) y una tira delgada en el lado derecho (en la parte baja entre 11 y 13 cm, y en la parte alta de 8 a 13 cm); todo el cuadro está reentelado. Concerniente a los pigmentos, los autores del estudio nos dicen que fueron aplicados por lo general en una sola capa de espesor 50-250 µm sobre la preparación, y que hay una, dos y hasta tres capas de barnices resinosos en superficie.

Los pigmentos de la pintura de Velázquez identificados están relacionados en la Tabla 1. Según los autores de la investigación, fue un bermellón relativamente puro (sulfuro de mercurio, HgS) el pigmento utilizado para expresar el estado radiante de la placa metálica rojo-anaranjada que Vulcano sostiene con tenazas. Añadimos que tal placa se calentó primero a mayor temperatura, por lo cual el pigmento utilizado para expresar tal luminosidad del hogar es diferente.

Tabla 1. Pigmentos de la *Fragua de Vulcano*, de Velázquez

Pigmentos identificados (referencia 16)	Comentarios químicos (consultando referencia 13 y nuestros)
Blancos:	
Blanco de plomo	Carbonato básico de plomo, $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$; origen sintético.
Calcita	Carbonato de calcio, CaCO_3 ; natural mineral y sintético.
Amarillos:	
Amarillo de plomo y estaño	Posiblemente, estannato de plomo, Pb_2SnO_4 ; origen natural mineral y fundamentalmente artificial. Colorante orgánico; origen natural vegetal.
Laca orgánica amarilla Óxido de hierro	Óxidos de hierro hidratados de origen mineral natural; el más importante es $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.
Azules:	
Ultramarino de lapislázuli	Mezcla natural mineral: azurita natural, $3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{S}$; silicato de sodio y aluminio más sulfuros; calcita, trazas de piritas y otras impurezas.
Azurita	Carbonato básico de cobre, $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$; origen mineral natural.
Esmalte	Silicato de potasio, K_2SiO_3 , coloreado con óxido de cobalto(II), (CoO); sintético.
Verdes:	
Tierra verde	Mezcla de silicoaluminatos de Fe(II), Mg y K; origen mineral.
Verde compuesto de azurita y laca orgánica amarilla	La azurita es carbonato básico de cobre de origen natural mineral. La laca orgánica amarilla es un colorante vegetal natural.
Rojos y naranjas:	
Bermellón	Sulfuro de mercurio, HgS; origen mineral o sintético.
Laca orgánica roja	Colorante orgánico cuyo principal componente es la alizarina (1,2-dihidroxi-antraquinona); origen natural.
Óxido de hierro	Fe_2O_3 , si es puro; origen natural mineral.
Negros:	
Negro orgánico de carbón	Carbón vegetal (sólido resultante de la transformación térmica de un material lignocelulósico).
Negro orgánico de huesos	Mezcla de carbón y cantidades notables de fosfato de calcio ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) y carbonato de calcio (CaCO_3) (sólidos resultantes del tratamiento térmico de huesos).
Pardos: Sombra	
	Mezcla de óxido de hierro (Fe_2O_3), arcillas y dióxido de manganeso (MnO_2); origen natural mineral.

Fuente: Elaboración propia con datos de las referencias 13 y 16.

ALGUNAS PINTURAS RELACIONADAS CON LA PREALQUIMIA Y LA ALQUIMIA

Las pinturas del MNP tituladas *El Agua*, *El Aire*, *El Fuego* y *La Tierra* son alegorías relativas a los cuatro elementos agua, aire, fuego y tierra de la Prealquimia (etapa de la Química anterior al siglo IV a. C.). Estas pinturas (Figura 3) anónimas del último cuarto del siglo XVII están ex-

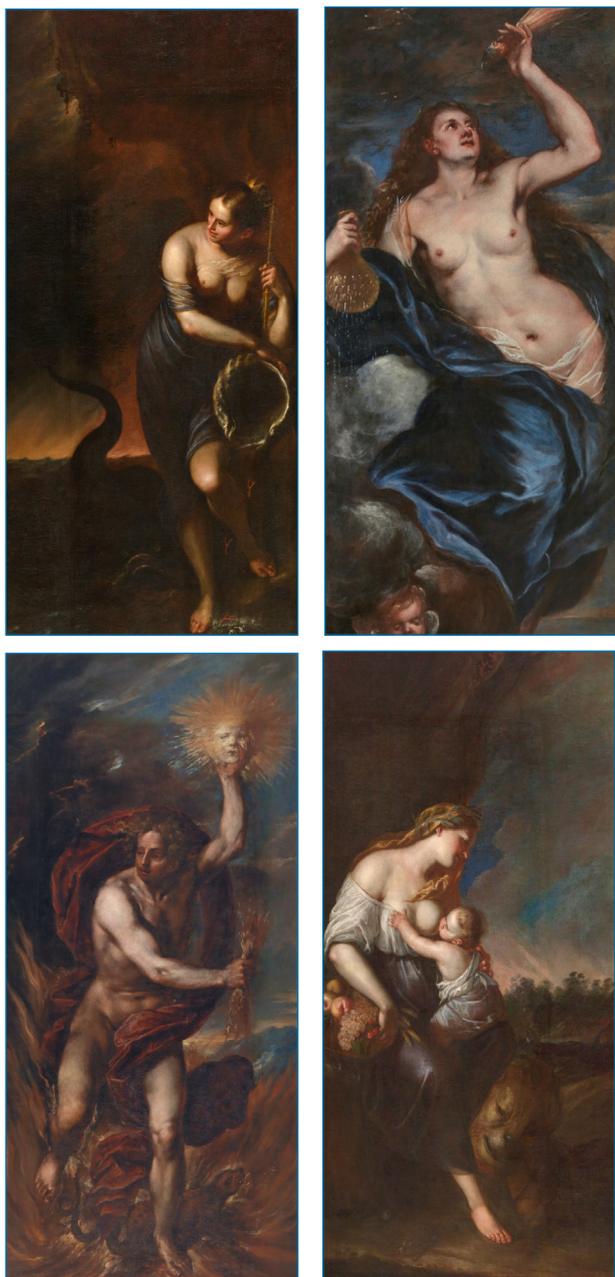


Figura 3. *El Agua*, *El Aire*, *El Fuego* y *La Tierra* (de izquierda a derecha y de arriba a abajo), óleos sobre lienzo (Alto: 245 cm; Ancho: 105,5 cm / Alto: 196,5 cm; Ancho: 78 cm / Alto: 246 cm; Ancho: 106 cm / Alto: 245 cm; Ancho: 106 cm), Anónimos, fecha 1675-1700. Fuente: MNP, núms. catálogos P003197, P000191, P003198 y P003196, ubicación en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid; fotografías para uso personal

puestas en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid. Recordemos que el agua, el aire, el fuego y la tierra fueron las materias originarias del universo según creían los filósofos griegos Tales (Mileto, h. 624-546 a. C.), Anaxímenes (Mileto, h. 588-524 a. C.), Heráclito (Éfeso, h. 540- 480 a. C.) y Empédocles (Agrigento, Sicilia, h. 490 a. C. – Peloponeso, h. 430 a. C.).^[17]

En estas pinturas se pueden apreciar imágenes relacionadas con la mitología y los razonamientos de los filósofos. A título de ejemplo, en la primera de ellas hay un delfín, una caracola, conchas y caracoles que aluden al medio marítimo.

Concerniente a la Alquimia (etapa de la Química del siglo IV a. C. al 1500, aproximadamente), en la pintura titulada *El Alquimista* (Figura 4), de David Teniers (hijo) representa en primer plano la escena del alquimista insuflando aire con un fuelle para avivar la combustión del carbón en el horno o fogón, teniendo a su izquierda una alquitara (alambique). En segundo plano figuran tres personas, dos de ellas parecen ser visitantes y la tercera un ayudante del alquimista mostrando un producto contenido en un recipiente de vidrio. La luz de las ventanas indica que es de día.



Figura 4. *El Alquimista*, óleo sobre tabla (Alto: 32 cm; Ancho: 25 cm), de David Teniers (Amberes, 1610 – Bruselas, 1690), fecha 1631-1640. Fuente: MNP, núm. catálogo P001804, Sala 077; fotografía para uso personal

PINTURAS DE INTERÉS SIDERÚRGICO POSTERIORES A LA ALQUIMIA

El hierro es un metal de gran importancia desde tiempos muy remotos; de hecho, se denomina “Edad del Hierro” el tiempo comprendido entre 1200 y 550 a. C.,^[18] de conocimiento posterior al cobre y bronce por su alto punto de fusión (1538 °C). En el Nuevo Mundo no se producía todavía el hierro cuando la expedición de Hernán Cortés (1519-1521) descubrió y conquistó el Imperio mexicana.^[19]

Con el transcurso del tiempo, se conocieron tres productos siderúrgicos: el hierro de forja (funde a temperaturas superiores a las que se podían alcanzar en la época), forjable y soldable en caliente, y dúctil en frío; el acero (temperatura de fusión menor), forjable al rojo, relativamente blando al ser enfriado lentamente pero extraordinariamente duro una vez templado (enfriamiento rápido por inmersión en agua y otros líquidos); el hierro fundido o colado (funde con facilidad), relativamente blando y mecanizable fácilmente. Todos estos productos contienen más del 95% de hierro y sus diferencias dependen principalmente de los tipos de horno y de los métodos seguidos que afectan a la cantidad de carbono tomado del combustible y reductor (el hierro dulce no contiene carbono; 0,25-1,25% en los aceros y 2,5-3,25% en el hierro de fundición), pero las diferentes cantidades de carbono en su composición fueron ignoradas hasta finales del siglo XVIII.^[20]

El uso del carbón vegetal como combustible y reductor metalúrgico es antiquísima. En la siderurgia, se utilizó primero carbón vegetal para reducir los óxidos minerales, y después coque. Ambos materiales de carbono se han definido por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, en sus siglas en inglés).^[21] Concerniente al carbón vegetal, hemos clasificado su producción en sistemas artesanales (discontinuos), parcialmente artesanales (discontinuos) e industriales (continuos).^[22]

Con el transcurso del tiempo, los sistemas productivos siderúrgicos han sido los hornos bajos (hornos primitivos y ferrerías) y los hornos altos. En los hornos bajos el método es directo (no se consigue hierro fundido y el producto tiene una composición final dependiente de la calidad del mineral de hierro y de la habilidad del operario) y en los altos el método es indirecto (se consigue hierro fundido, llamado arrabio o hierro colado, susceptible de cambiar su composición química en una segunda etapa).

La producción de hierro a partir de sus óxidos minerales se llevó a cabo en rudimentarios hornos primitivos, en los que se alternaban capas de mineral de hierro con otras de carbón vegetal, insuflándose aire mediante tiro natural o fuelles accionados con las manos o con los pies. En la colección del MNP no hay pinturas sobre hornos primitivos.

Las ferrerías, conocidas también como ferrerías o herrerías, son sistemas de producción de hierro más complejos que los hornos primitivos. Las ferrerías son de origen medieval y funcionaron hasta finales del siglo XIX,

con mayor importancia del siglo XVI al XIX debido al perfeccionamiento del sistema hidráulico exterior del que formaban parte las ruedas hidráulicas verticales para accionar los barquines (grandes fuelles) y el mazo.^[23] En particular, en el actual País Vasco había ya 270 ferrerías y 44 martinets en 1752, superando las cifras productivas del siglo XVI.^[24]

En resumen, al edificio de la ferrería llegaban los minerales de hierro (hematita, magnetita, limonita o goethita) previamente calcinados con leña, cuyos óxidos eran reducidos con carbón vegetal a altas temperaturas (menores que la temperatura de fusión del hierro) en el horno troncopiramidal, relativamente pequeño; no se producía hierro fundido y las escorias e impurezas eran muchas. En el mismo edificio, cerca del horno de reducción, estaba almacenado el carbón vegetal que se había preparado en el bosque cercano mediante carboneras, y mediante los barquines se suministraba el aire que se insuflaba por una tobera al horno de reducción para la combustión del carbón vegetal. La esponja resultante se forjaba frecuentemente en el mismo edificio o en otros edificios con mazos, machucos o martinets para la eliminación de escorias e impurezas, la modificación de la estructura para mejorar sus propiedades y preparación para usos posteriores; la operación consistía en el calentamiento en hogares para ablandamiento del hierro producido y la subsiguiente percusión violenta mediante el mazo, es decir, mediante un martillo pilón de grandes dimensiones que golpeaba rítmicamente el hierro ablandado sobre un yunque clavado en el suelo.

La pintura titulada *Paisaje con ferrerías* (Figura 5), de autor belga, es una vista general de ferrerías; fue pintada en 1595, es decir, en un tiempo de conocimientos mineros y metalúrgicos mucho más próximo al final de la Alquimia que a la época de Lavoisier. En la tabla pictórica se puede observar un pozo y la actividad laboral característica de extracción y transporte del mineral de hierro en carretillas, el sistema hidráulico y el conjunto



Figura 5. *Paisaje con ferrerías*, óleo sobre tabla (Alto: 41 cm; Ancho: 64 cm), de Lucas van Valckenborch (Lovaina, 1535 – Fráncfort, 1597), 1595. Fuente: MNP, núm. catálogo P0011854; fotografía para uso personal

arquitectónico del que formaba parte el edificio de reducción de las menas de hierro; hay también herramientas diversas para los trabajos a realizar, cuya fabricación y reparación se realizaba en otro edificio denominado fragua de la ferrería (forja pequeña).

En relación con la metalurgia en general y la siderurgia en particular, las fraguas, llamadas también forjas, eran edificios donde el maestro y aprendices trabajaron artesanalmente desde tiempo inmemorial los metales de uso en la vida cotidiana, principalmente el hierro. Había fraguas próximas a las ferrerías y martinets, pero lo frecuente era la ubicación en poblaciones por no necesitar los sistemas hidráulicos de las ferrerías. En ellas, los materiales metálicos se calentaban en un hogar o fogón, generalmente, con carbón vegetal de alto poder calorífico (por ejemplo, carbón de brezo) que ardía con el aire suministrado mediante un fuelle movido a mano. Suficientemente calientes, los materiales metálicos se retiraban del fogón y sujetos con las herramientas adecuadas se golpeaban manualmente sobre un yunque para conformar piezas pequeñas.

La producción de hierro posterior a las ferrerías fue mediante sistemas más avanzados denominados altos hornos, influyendo en ello la disminución de las zonas forestales por la expansión de la ganadería y otras explotaciones. Como es conocido, los altos hornos son sistemas de producción continuos en los que se utiliza coque como combustible y reductor de los óxidos de los minerales hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), limonita ($\text{FeO}(\text{OH})$) y siderita (FeCO_3), aunque en algunos sitios en que abunda la madera se usa carbón vegetal. El hierro está completamente reducido antes de iniciarse la formación de escoria en la región media del horno y finalmente resulta fundido y separado de ella.

La pintura titulada *Las doce en los Altos Hornos* (Figura 6) fue realizada en 1895, corriendo la última década del convulso siglo XIX español, tras décadas de industrialización tardía y desigual en la España decimonónica. Ese año es muy posterior al inicio de la Revolución Industrial en Inglaterra o Primera Revolución Industrial (29 de abril de 1769, fecha de la primera patente



Figura 6. *Las doce en los Altos Hornos*, óleo sobre lienzo (Alto: 43 cm; Ancho: 84 cm), de Manuel Villegas Brieva (Lérida, 1871 – Madrid, 1923), 1895. Fuente: MNP, núm. catálogo P007812, depositado en la Universidad de Córdoba, Córdoba; fotografía para uso personal

de la primera máquina de vapor del ingeniero civil escocés James Watt).^[25] En la pintura, además de mostrar la complejidad de una nave industrial y de reflejar la alta temperatura en la misma, se muestra el realismo social de algunos obreros almorzando sentados en el suelo de la misma nave junto a sus mujeres, que les han llevado el almuerzo.

PINTURAS DE INTERÉS AEROSTÁTICO

Consideramos que es de interés comentar pinturas del MNP correspondientes a los comienzos de la aerostación en las décadas de 1780 y 1790, es decir, cuando la Revolución Industrial y la Revolución Química comenzaban a florecer al final de la Ilustración. Los fundamentos aerostáticos son físicos y químicos.

Los franceses Joseph Michel Étienne Montgolfier (Vidalon-les-Annonay, Francia 1740 – Balaruc-les-Bains, Francia, 1810) y su hermano Jacques Étienne Montgolfier (Vidalon-les-Annonay, Francia, 1745 – en ruta entre Lyon y Annonay, Francia, 1799) inventaron los globos aerostáticos de aire caliente, conocidos como montgolfieres.^[26] Tras observaciones y experimentos previos, la primera demostración pública la hicieron en la villa de Annonay (Vivarais), el 5 de junio de 1783, descrita en diferentes publicaciones. Aunque hay tentativas anteriores del ser humano para liberarse de la atracción terrestre, esa fecha se suele considerar el comienzo de la Historia de la Aerostación; hizo recordar a Cristóbal Colón, casi trescientos años después del Descubrimiento de América o Encuentro de los mundos viejo (europeo) y nuevo (indígena).

Algunos años antes de la invención de los hermanos Montgolfier, el físico y químico Henry Cavendish (Niza, 1731 – Londres, 1810) había descubierto en 1766 y estudiado las propiedades de un gas al que llamó *aire inflamable*, producto de la reacción de un ácido fuerte (por ejemplo, ácido vitriólico, es decir, ácido sulfúrico) con ciertos metales (por ejemplo, cinc o hierro),^[27] que sería denominado hidrógeno dos décadas después por Antoine Laurent Lavoisier.^[28] Dicho gas, mucho menos denso que el aire, fue sugerido por el físico francés Jacques Alexandre César Charles (Beaugency, 1746 – París, 1823) para propulsar los globos aerostáticos en vez de aire caliente, contribuyendo a su perfección.^[29] El 27 de agosto de 1783, a las cinco de la tarde, se inició el experimento de elevar el primer aerostato de hidrógeno en el campo de Marte, tras cuatro días de preparación; 500 kg de hierro y 250 kg de ácido sulfúrico fueron necesarios para llenar un globo hasta sus dos tercios; el globo se hizo de fajas de seda barnizadas con caucho para que no se escapase el gas por los poros. Este segundo experimento, como el anterior y otros que siguieron en Francia se han descrito detalladamente.^[30]

A los globos llenos con hidrógeno se unía una barquilla (cesta), en la que embarcaban los aeronautas y cuanto llevaban para observar y experimentar. En cambio, en los

globos tipo montgolfier había una galería perimetral por encima de la boca del globo.

En España, las noticias sobre los acontecimientos aerostáticos franceses con globos montgolfier y globos de hidrógeno se conocieron inmediatamente, principalmente a través de las publicaciones periódicas *Gaceta de Madrid* y *Mercurio histórico y político*, y la experimentación fue inmediata. Es posible que la primera ascensión no tripulada en España sea la de 29 de noviembre de 1783; fue un globo que ascendió en el Escorial construido bajo la dirección del ingeniero civil Agustín de Betancourt y Molina (Puerto de la Cruz, Tenerife, 1758 - San Petersburgo, 1824), meses antes de pasar a Francia como pensionado; el experimento fue presenciado por el rey y otras personas cortesanas.^[31]

José Viera y Clavijo (Realejo Alto, Tenerife, 1731 – Las Palmas, 1813) era conocedor de los nuevos gases descubiertos y realizó también diversos ensayos en el gabinete experimental del palacio del marqués de Santa Cruz de Madrid desde algunos años antes, concurriendo público diverso; destacó a Pedro Gutiérrez Bueno como “mi primer discípulo de aires fijos y gases”.^[32] Pocos días después de la ascensión del globo construido por Betancourt y Molina, el 15 de diciembre de 1783 ascendieron dos globos desde el jardín del Marqués de Santa Cruz.^[33] En su publicación *Los ayres fijos* menciona los primeros experimentos franceses de globos aerostáticos.^[34]

La actividad aerostática española continuó en 1784. Se conserva en el MNP la pintura *Ascensión de un globo Montgolfier en Aranjuez* (Figura 7), de autor español. En tierra, se puede observar numeroso público en una gran explanada, con una gran arboleda detrás, y una plataforma de madera octogonal en cuyo centro se encuentra la fuente de calor generadora de aire caliente (más ligero que el aire atmosférico exterior) para llenar el globo y causar la ascensión; los mástiles servían para colgar el globo antes de iniciar su llenado con el aire caliente. Y si se observa el globo, de arriba a abajo se pueden apreciar sobre la tela los signos del zodiaco alrededor y soles como decoración, cuatro astas de las que cuelgan dos banderas blancas y dos banderas rojizas, y al menos un tripulante con un banderín en el corredorcillo perimetral por encima de la boca del globo; el sentido de las llamas no nos parece correcto porque la fuente de calor transportada proporcionaría llamas y aire caliente hacia el interior del globo. Según la *Guía del Prado*,^[35] la pintura corresponde a la ascensión de un vuelo tripulado en presencia de los reyes y toda la corte de Carlos III en Aranjuez. Tal acontecimiento pudo haber ocurrido en ese real sitio porque el rey permaneció allí entre el 23 de abril y parte de junio de ese año, según consta en la *Gaceta de Madrid*.

En España, hubo ascensiones tripuladas en aerostatos de hidrógeno en el reinado de Carlos IV. La primera fue la del capitán italiano Vizenzo Lunardi en Madrid, el domingo 12 de agosto de 1792 y la segunda el martes 8 de enero de 1793, que fueron presenciadas por la Familia Real, Godoy y Álvarez de Faria, y numeroso público que dejó beneficios económicos al Hospital General de



Figura 7. *Ascensión de un globo Montgolfier en Aranjuez*, óleo sobre lienzo (Alto: 169 cm; Ancho: 279,5 cm), de Antonio Carnicero Mancio (Salamanca, 1748 – Madrid, 1814), hacia 1784. Fuente: MNP, núm. catálogo P641, Sala 089; fotografía para uso personal

Madrid. Los globos se llenaron con hidrógeno generado *in situ* en los lugares de partida (Jardín del Buen Retiro y Plaza de la Armería del Palacio Real, respectivamente) mediante reacción química de cinc con ácido sulfúrico diluido, y a bordo iban instrumentos científicos (brújula, barómetro, termómetro, etcétera) y botellas llenas de agua. Tiene también interés señalar que finalizado el segundo viaje, el aeronauta entregó al duque de la Roca una botella llena de aire tomada a la mayor elevación conseguida; el aire fue analizado por los comisionados Francisco Hicedo y Francisco Gómez, Boticarios primero y segundo de los Reales Hospitales General y Pasión de la Corte, análisis que se realizó en el Real Laboratorio de Química de la calle de Alcalá, facilitando el catedrático Pedro Gutiérrez Bueno todo el material necesario. El resultado del análisis del aire recibido fue “que cada cien partes de este aire, contenía veinte y siete del gas oxígeno, y setenta y tres del gas azoótico”, es decir 27% de oxígeno y 73% de nitrógeno, resultados que comparados con el análisis del aire de la calle de Alcalá les “hizo conocer que las partes del aire analizado, eran casi iguales a las de este último”, y aseguraron que el aire recibido para su análisis “solo se diferencia del que nos rodea en estar más enrarecido, o bien sea por el menor peso que gravita sobre él, o por la variación de su temperatura”. Este análisis fue hecho público el 18 de enero de 1793.^[36]

No se conservan en el MNP imágenes referentes a las ascensiones en aerostatos de hidrógeno realizadas en España por Vizenzo Lunardi. Sin embargo, sí se conserva la pintura titulada *Los tres viajeros aéreos favoritos* (Figura 8); representa el segundo vuelo londinense que organizó en 1785 en un aerostato de hidrógeno, despegando de St. George’s Fields, en el sur de Londres; Lunardi saluda y le acompañan su ayudante George Biggin y la actriz Letitia Anne Sage.^[37]

Es destacable señalar que entre las ascensiones de Vizenzo Lunardi en España se realizó experimentación militar con aerostatos de hidrógeno en Segovia, en donde ejercía el conocido Louis Joseph Proust desde su vuelta a España en 1786 contratado como catedrático de Química de la Real Escuela de Artillería. Oficiales y



Figura 8. *Los tres viajeros favoritos*, óleo sobre lámina de cobre (Alto: 50,5 cm; Ancho: 36,5 cm), de John-Francis Rigaud (Turín, 1742 – Packington Hall, 1810), hacia 1785. Fuente: MNP, núm. catálogo P002598, Sala 089; fotografía para uso personal

alumnos del Real Colegio de Artillería de Segovia, asesorados por él, construyeron un aerostato de 45 m de diámetro y 93 m de largo. Tras experimentación previa, ascendió con éxito los días 3, 5 y 7 de noviembre de 1792. A petición de la Familia Real, se realizó una demostración con éxito en San Lorenzo de El Escorial el 14 de noviembre de ese año, acto en el que intervino el capitán Proust; el conde de Aranda fue testigo y escribió un informe laudatorio.^[38]

CONCLUSIONES

1. Reinando Fernando VII, el 19 de noviembre de 1819 fue inaugurado el Real Museo de Pinturas en el edificio neoclásico reparado (hoy, Edificio Villanueva) que se construyó en los reinados de Carlos III y Carlos IV para ser la sede de la Real Academia de Ciencias Naturales de Madrid, y de otras dependencias científicas y tecnológicas conexas. La denominación Museo Nacional del Prado data de 1920. En 2019, reinando Felipe VI, se ha celebrado el bicentenario de la fundación del mundialmente famoso museo español.
2. Tiene mucha “química” acumulada pues cada pintura de su numerosa colección es un sistema material heterogéneo desde su elaboración, que hay que conservar y restaurar con el paso del tiempo. Tal consideración material permite estudiar sus pinturas aplicando diferentes técnicas, contribuyendo a ello la Química significativamente desde el siglo en curso.
3. Entre sus numerosas pinturas, hay algunas relacionadas con la Historia de la Química, de potencial interés didáctico. Hay pinturas de interés prealquímico y alquímico, pinturas de interés siderúrgico y pinturas de interés aerostático.

AGRADECIMIENTOS

Al MNP y a la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid por sus atenciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. La Parra López, Fernando VII, Real Academia de la Historia, <https://bit.ly/3k5NKwM> (visitada el 14/02/2021).
- [2] *Gaceta de Madrid*, **1818**, 27(3/3/1818), 227.
- [3] *Gaceta de Madrid*, **1819**, 142(18/11/1819), 1178-1179.
- [4] M. P. Queralt del Hierro, Sajonia, María Josefa Amalia, Real Academia de la Historia, <https://bit.ly/3qzZS33> (visitada el 10/12/2020).
- [5] *Catálogo de los cuadros de Escuela Española que existen en el Museo del Prado*, Madrid, Imprenta Real, 1819.
- [6] *Gaceta de Madrid*, **1920**, 137(16/05/1920), 642-647.
- [7] Comité Científico Organizador, *Chemistry: Science at the Frontier/Química, Ciencia en la frontera*, 13.º Simposio Científico, Madrid, Fundación Lilly, 2008, págs. 5-6.
- [8] C. Roca, [Entrevista a José Elguero, presidente del Foro Permanente Química y Sociedad], *Quím. ind.*, **2009**, 582(abril-mayo), 12-15.
- [9] L. A. Oro, La Química española en el año internacional de la Química, *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, **2011**, CLXXXVII(Extra), 169-172.
- [10] J. M. Cabrera Garrido, Contribución de la Química a las Bellas Artes, F. Calvo Calvo (org.) *Curso de Conferencias sobre Historia de la Química*, Madrid, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Realigraf, 1982, págs. 261-284.
- [11] M. A. Moreno Cifuentes, P. Sedano, Investigación en los laboratorios de restauración de museos históricos, *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, **2006**, CLXXXII(717), 87-97.
- [12] *Memorial Literario Instructivo y Curioso de la Corte de Madrid*, **1788**, febrero, 302-309.
- [13] M. Matteini, A. Moles (traducción de Emiliano Bruno y Giuliana Lain), *La Química en la restauración. Los materiales del arte pictórico*, Guipúzcoa: Nerea, Sevilla: Junta de Andalucía: Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, 2001, págs. 25-140.
- [14] A. E. Pérez Sánchez, Rodríguez de Silva y Velázquez, Diego, Real Academia de la Historia, <https://bit.ly/2NkSORQ> (visitada el 10/12/2020).
- [15] M. D. Jiménez Blanco (ed.), *La Guía del Prado* (7.ª ed., re.), Madrid, Museo Nacional del Prado, 2019, págs. 108-109.
- [16] M. C. Garrido Pérez, J. M. Cabrera, G. Mckim-Smith, R. M. Newman, La Fragua de Vulcano. Estudio técnico y algunas consideraciones sobre los materiales y métodos, *Boletín del Museo del Prado*, **1983**, 4(11), 79-95.
- [17] M. Alfonseca, *Grandes científicos de la humanidad*, Madrid, Espasa Calpe, 1998, vol. 2, pág. 205; vol. 1, págs. 6, 66 y 97.

- [18] A. Company Casadevall, Z = 86, hierro, Fe, *An. Quí.* 115(2), **2019**, 88.
- [19] J. Pastor Villegas, J. F. Pastor Valle, Después del Imperio Mexica: aspectos científicos y tecnológicos prehispánicos aportados por Hernán Cortés, novohispanos e hispanomexicanos, *Actas del Congreso Internacional Hernán Cortés en el siglo XXI. V Centenario de la llegada de Hernán Cortés a México*, Medellín y Trujillo, 4-6 de abril de 2019, págs. 73-74 (publicación más extensa en prensa).
- [20] C. S. Smith, La metalurgia en los siglos XVII y XVIII, M. Kranzberg, C. W. Pursell, Jr. (eds.), *Historia de la Tecnología: La técnica en Occidente de la Prehistoria a 1900*, Barcelona, Gustavo Gili, 1981, vol. 1, págs. 162-188.
- [21] E. Fitzer, H. H. Köchling, H. P. Bohem, H. Marsh, Recommended terminology for the description of carbon as a solid (Recommendations 1995), *Pure Appl. Chem.* **1995**, 67, 473.
- [22] J. Pastor Valle, J. F. Pastor Valle, J. M. Meneses Rodríguez, M. García García, Study of comercial wood charcoals for the preparation of carbon adsorbents, *J. An. Appl. Pyrolysis*, **2006**, 76, 103-108.
- [23] J. A. Balboa de Paz, *La siderurgia tradicional en el noroeste de España (siglos XVI-XIX)*, Tesis doctoral, Universidad de León, Departamento de Historia, 2014.
- [24] O. Puche Riart, J. F. Ayala Carcedo, Notas sobre la minería y metalurgia españolas en la época del Imperio, *Bol. Geol. Min.*, **1995**, 196(2), 186-198.
- [25] M. Alfonseca, Watt, James, *Grandes científicos de la humanidad*, Madrid, Espasa Calpe, 1998, vol. 2, pág. 220.
- [26] I. Asimov, *Enciclopedia biográfica de ciencia y tecnología* (versión española de C. Varela Ortega y F. Díaz Calero), Madrid, Alianza Editorial, 1982, pág. 191.
- [27] I. Asimov, *Enciclopedia biográfica de ciencia y tecnología* (versión española de C. Varela Ortega y F. Díaz Calero), Madrid, Alianza Editorial, 1982, págs. 160-161.
- [28] I. Asimov, *Enciclopedia biográfica de ciencia y tecnología* (versión española de C. Varela Ortega y F. Díaz Calero), Madrid, Alianza Editorial, 1982, págs. 178-182.
- [29] I. Asimov, *Enciclopedia biográfica de ciencia y tecnología* (versión española de C. Varela Ortega y F. Díaz Calero), Madrid, Alianza Editorial, 1982, págs. 190-191.
- [30] F. Marion (versión española E. Cazorla), *Los Globos y los viajes aéreos*, Madrid, Gaspar Editores, 1883.
- [31] A. Rumeu de Armas, *Ciencia y Tecnología en la España Ilustrada. La Escuela de Caminos*, Madrid, Ediciones Turner, 1980, p. 38.
- [32] T. F. Glick, Viera y Clavijo, José de, *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*, Barcelona, Ediciones Península, 1983, vol. 2, págs. 412-413.
- [33] P. A. de Salanova y Guilarte, *Estática del ayre y náutica de la atmósfera, o disertación...*, Madrid, Imprenta de Sancha, 1792, págs. 15-16.
- [34] J. de Viera y Clavijo, *Los ayres fixos*, Las Palmas, Imprenta de Francisco Martín González, 1876, págs. 40-49.
- [35] M. D. Jiménez Blanco (ed.), *La Guía del Prado* (7.ª ed. re.) Madrid, Museo Nacional del Prado, 2019, pág. 164.
- [36] F. Hicedo, J. Gomez, Analisis quimico del ayre obtenido en una botella, por el Capitan Don Vicente Lunardi, en la mayor altura de su ultimo viage aerostático, *Diario de Madrid*, **1793**, 18 (viernes 18 de enero), 73-75.
- [37] P. A. de Salanova y Guilarte, *Estática del ayre y náutica de la atmósfera, o disertación...*, Madrid, Imprenta de Sancha, 1792, págs. 16-19.
- [38] C. Lázaro Ávila, A. Pérez Heras, *La aerostación militar en España*, Madrid, Ministerio de Defensa, Secretaría General Técnica, Industrias Gráficas Caro, 1995, págs. 11-14.