

Alquimia: Pigmentos y colorantes históricos

Margarita San Andrés, Natalia Sancho y José Manuel de la Roja

Resumen: En este artículo se describen algunos de los pigmentos de origen sintético más importantes de la historia de la pintura, que han sido utilizados desde la antigüedad clásica hasta el siglo XVII. A partir de esta descripción se establece la relación existente entre su aparición en la paleta de los pintores y los conocimientos científicos y tecnológicos de la época en la que fueron obtenidos. Dentro de este mismo contexto, se comentan los avances experimentados en los procesos de tinción, desde la antigüedad hasta el nacimiento de la Química moderna.

Palabras clave: Pigmentos, colorantes, alquimia, pintura, patrimonio cultural.

Abstract: In this paper some of the most important synthetic pigments produced from antiquity to 17th century are described. The connections between its appearance in the painters' palette and the scientific and technological knowledges of the epoch are established. They are also commented the advances experienced on the processes of the dyeing, from the antiquity up to the birth of the modern Chemistry.

Keywords: Pigments, dyes, alchemy, painting, cultural heritage.

Introducción

Uno de los objetivos del arte de la pintura ha sido trasladar los colores del entorno a distintos soportes. Para ello, tradicionalmente, los artistas se han basado en sus conocimientos sobre las teorías del color, su propia destreza y las características de los materiales pictóricos de que disponían. Este conjunto de circunstancias ha tenido una gran influencia en las distintas manifestaciones culturales, artísticas y religiosas relacionadas con el uso del color.^[1]

Desde sus orígenes, la alquimia ha estado relacionada con la elaboración de medicamentos, las artes metalúrgicas y la fabricación de cerámicas, perfumes, pigmentos y colorantes. En Occidente, estas primeras aportaciones surgen en Egipto, donde tuvieron un carácter eminentemente práctico, alcanzando un gran desarrollo entre los griegos de Alejandría. Estos conocimientos fueron asumidos por los romanos y transmitidos a los árabes que los combinaron con los aportados por la alquimia oriental. En la Edad Media la alquimia experimenta un importante desarrollo en Europa.

Hasta el nacimiento de la química moderna la preparación de pigmentos y colorantes estuvo relacionada con la alquimia, puesto que la elaboración de colores requería de conocimientos e instrumental propios del trabajo de los alquimistas.^[2] Por tanto, ya en épocas tempranas debió de existir una transmisión de conocimientos entre pintores y alquimistas.

Los pintores destilaban aceites, molían pigmentos y fabricaban utensilios para la obtención de estas sustancias. Prueba de esta relación es el subgremio que los pintores florentinos del siglo XIV formaron dentro del gremio de los médicos y boticarios.^[3] Sin embargo, cuando la química nace como

ciencia y se separa de la alquimia, la elaboración de materiales pictóricos es asumida enteramente por la primera.

Por tanto, la introducción de nuevos materiales coloreados y la mejora de sus procesos de aplicación práctica, han sido constantes desde los inicios de la historia. Estas contribuciones tuvieron notables consecuencias en el uso de ciertos pigmentos y colorantes que han sido importantes protagonistas de la historia de los materiales pictóricos. Una de las principales dificultades asociadas a su estudio es la gran variedad de términos con los que han sido designados a lo largo de la historia (Tabla 1).^[4] Las denominaciones utilizadas en la antigüedad eran de origen grecolatino. A partir de los siglos XVI y XVII se generalizó el empleo de las lenguas vernáculas y en ciertos casos, existen diferencias significativas en función de la zona de producción, propiedades físicas (especialmente el color) e incluso tipos de aplicación. Además, no era extraño utilizar un mismo término para designar diferentes pigmentos. Estas confusiones terminológicas se mantuvieron hasta finales del siglo XVIII en que se empiezan a establecer las primeras reglas para nombrar y formular la materia.^[5]

Tabla 1. Denominaciones de algunos pigmentos históricos de origen artificial.

Término actual ^[a]	Algunos términos antiguos
Blanco de plomo	Usta, Cerussa, Albayalde, Blanco de Plata
Verdigrís	Verdete, Verde de Grecia, Cardenillo
Rojo de plomo	Minio, Minium, Rojo Saturno
Amarillo de plomo y estaño	Giallolino, Zallolino, Hornaza,

^[a]En el ámbito de las Bellas Artes.

Para conocer las aportaciones de la alquimia en la producción y uso de pigmentos y colorantes, es necesaria la consulta de ciertas fuentes documentales, tales como recetarios, tratados de arte, libros de secretos, textos de alquimia, textos de tecnología artística, ordenanzas, facturas y contratos.^[6] También es de gran interés la información que las distintas técnicas analíticas proporcionan en cuanto a la naturaleza química de los materiales empleados en el ámbito artístico.^[7] Partiendo de la información suministrada por estas técnicas analíticas y la recogida en las fuentes documentales indicadas,



M. San Andrés



N. Sancho



J. M. de la Roja

Departamento de Pintura (Pintura y Restauración),
Universidad Complutense,
c/ Greco nº 2, 28040, Madrid
C-e: msam@art.ucm.es

Recibido: 16/03/2009. Aceptado: 01/06/2009.

en los siguientes apartados se describen los principales pigmentos y colorantes relacionados con las prácticas artísticas, desde la antigüedad hasta el s. XVII.

Primeras aportaciones de la alquimia

En el Paleolítico surgen las primeras manifestaciones artísticas. Los pigmentos utilizados eran de origen natural, mayoritariamente de naturaleza inorgánica. Fundamentalmente se trata de ocre rojo [hematites ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)], ocre amarillo [goetita ($\alpha\text{-FeOOH}$)], negro carbón y calcita (CaCO_3). Procedían de yacimientos próximos al lugar de ejecución de la obra pictórica y estas fuentes de suministro de materiales se mantuvieron durante miles de años. En general, eran sometidos a un tratamiento muy simple que, normalmente, se limitaba a su lavado y molidura. Sin embargo, algunas investigaciones apuntan la posibilidad de que, ya en aquella época, se conociera la transformación de goetita en hematites por efecto del calor.^[8]

Las primeras aplicaciones relacionadas con la transformación artificial de la materia surgen en el Neolítico. Tuvieron una finalidad eminentemente práctica y alejada de los aspectos filosóficos asociados a la alquimia. Sus aportaciones en el campo artístico y cultural, derivan del control de la tecnología del fuego, que hizo posible la obtención de aleaciones, cerámica y vidrio. Por otra parte, ya en el siglo IV a.C fue conocido el carácter corrosivo del vinagre sobre el cobre y el plomo lo que permitió obtener pigmentos de gran interés artístico y cuyo uso se ha mantenido hasta el siglo XIX. Asimismo, muy pronto el hombre fue capaz de extraer sustancias de carácter tintóreo a partir de plantas, insectos y moluscos. Estos importantes avances surgen en las civilizaciones mesopotámica y egipcia.^[9]

Uno de los pigmentos de origen sintético más antiguos (c. 3.100 a.C) es el *azul egipcio*, también designado como frita egipcia, azul de Alejandría y azul pompeyano. Los antecedentes relacionados con su producción se encuentran en la fabricación del vidrio, para cuya elaboración se parte de arena (SiO_2) y sosa (Na_2CO_3) o potasa (K_2CO_3). La sosa existe como mineral y antiguamente se conocía como natrón, siendo la zona egipcia de Uadi el lugar de extracción de este mineral en aquella época. Ambos carbonatos, tradicionalmente, se han obtenido de las cenizas de maderas y plantas, mediante lixiviación, filtrando agua a través de las cenizas de distintas plantas (quejigo, sarmientos, barrilla). Fue en Mesopotamia donde se descubrió que la cal, añadida en forma de caliza (CaCO_3), mejora las características del vidrio. Por otra parte, la presencia de óxidos metálicos proporciona vidrios de distintos colores. Estos conocimientos hicieron posible la obtención del *azul egipcio* a partir del calentamiento, a temperaturas elevadas (850–1000 °C), de una mezcla de arena, caliza, natrón, y un compuesto de cobre, posiblemente malaquita [$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$]. El resultado de este proceso es un vidrio cuyo color azul deriva de la presencia de Cu(II) en la matriz vítrea. Este pigmento tuvo una gran importancia en Egipto y, durante la época romana, su uso se extendió por los países de la cuenca mediterránea, siendo uno de los pigmentos más utilizados en aquel período de la historia.^[10] Su presencia es habitual en los yacimientos arqueológicos de aquella época y ha sido objeto de numerosos estudios.^[11] Las principales razones de su uso fueron: paliar la escasez de mine-

rales de color azul (especialmente en Egipto) y la amplia versatilidad de sus aplicaciones. Respecto a éstas, puede ser utilizado como pigmento o bien como tinta, también permite obtener piezas macizas y, además, ser utilizado en la decoración de objetos de cerámica. Existe una variante de este pigmento, el *verde egipcio*, cuyo proceso de obtención y composición son similares, pero que presenta menor contenido en cobre.^[12]

Por otra parte, los egipcios, griegos y romanos sabían hacer uso de ciertos ácidos y álcalis. Aunque los ácidos minerales fuertes (sulfúrico y nítrico) fueron descubiertos a principios de la Edad Media por los alquimistas árabes, el ácido acético contenido en el vinagre permitió obtener algunas sustancias pigmentarias de interés. La sensibilidad del plomo y del cobre frente a la acción de este ácido dio lugar a la fabricación del *blanco de plomo* y del *verdigrís*, respectivamente (Figuras 1b y 1c). El primero es un dihidroxibicarbonato de plomo (II) [$\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$] y el segundo es un acetato de cobre (II) que responde a la fórmula general [$\text{Cu}_x(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_y(\text{OH})_z \cdot n\text{H}_2\text{O}$].

Para obtener el blanco de plomo es necesaria la acción combinada del ácido acético y el dióxido de carbono generado en la fermentación de ciertos productos orgánicos. El proceso aplicado era muy similar al empleado en la Edad Media y que, a su vez se ha mantenido hasta el siglo XIX. Para obtener el pigmento, el plomo, en forma de tiras o bucles, se introduce en un recipiente de arcilla que, en su parte inferior, tiene un compartimento en el que se encuentra el vinagre. Estos recipientes cerrados, se colocan en filas que se separan con estiércol de caballo; de esta manera, se mantienen de uno a tres meses. En el interior del recipiente se forma primeramente el acetato de plomo (II) [$\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$] que, bajo la acción del CO_2 producido en la fermentación del estiércol, el O_2 del aire y el vapor de agua se transforma finalmente en [$\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$] (blanco de plomo).

Inicialmente, el verdigrís no tuvo uso como pigmento, sino como medicamento, tal y como recoge Dioscórides (siglo I d.C) en su tratado medicinal "*De materia médica*".^[13] También fue empleado en técnicas de imitación de piedras preciosas, tal y como se describe en la receta 17 del Papiro de Estocolmo (finales del siglo III o principios del IV d.C).^[14] Otros pigmentos artificiales de interés son los óxidos de plomo: litargirio ($\alpha\text{-PbO}$) y masicote ($\beta\text{-PbO}$) (amarillos) y el minio (Pb_3O_4) (rojo-anaranjado) que se obtienen por tostación del blanco de plomo (Figuras 1a y 1d).^[15] Algunos de estos pigmentos, como el blanco de plomo y el minio tuvieron amplia aceptación como cosméticos.^[16]

Además de los pigmentos de origen artificial descritos se utilizaron muchos otros de origen natural y naturaleza inorgánica: caliza (CaCO_3), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ocre rojo ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), ocre amarillo ($\alpha\text{-FeOOH}$), y tierras de color amarillo, rojo o verde; las dos primeras son aluminosilicatos que contienen hierro en forma de hierro (III) y la tercera en forma de hierro (II). Otros minerales de gran interés por su uso como pigmentos fueron: azurita [$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$], malaquita [$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$], cinabrio (HgS), crisocola ($\text{Cu}^{2+}, \text{Al}_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), oropimente (As_2S_3) y rejalgar (AsS). Los aglutinantes empleados fueron goma arábiga, cera (pintura a la encaústica) y cal (pintura mural al fresco).

En relación a las técnicas asociadas a la obtención de colorantes y a los procesos de tinción, éstas son conocidas desde

la antigüedad.^[17] Por ejemplo, Plinio alaba las técnicas de tinción de los egipcios que ya conocían la ventaja de la aplicación de mordientes. Asimismo, los Papiros de Leyden y Estocolmo, especialmente el segundo, contienen recetas relacionadas con la tinción de tejidos.^[18] De su lectura se deduce que el arte de la tintura era perfectamente conocido; los artesanos de aquella época conocían la importancia de eliminar los posibles restos de suciedad y grasa del tejido, mediante lavados con sosa o jabón, y la necesidad de su posterior tratamiento con mordientes (alumbre, agua de cal y compuesto de hierro y cobre).

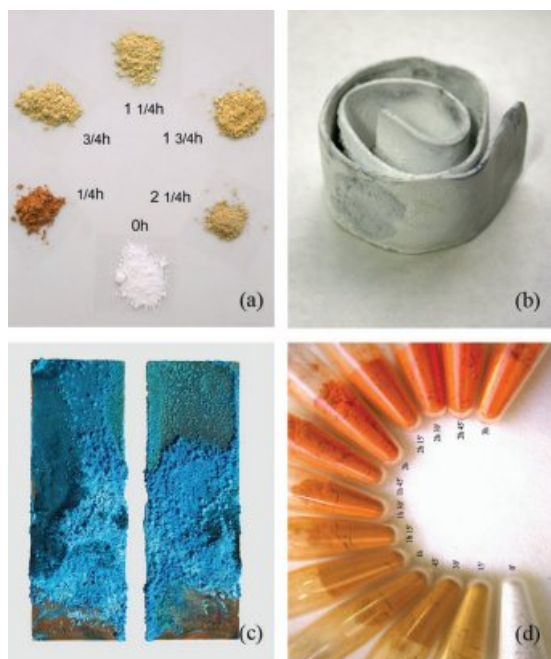


Figura 1. a) Tostación del blanco de plomo a 600 °C. Obtención de masicote (β -PbO) después de 135 minutos; b) Obtención del blanco de plomo mediante corrosión de plomo metálico bajo la acción combinada del ácido acético y el CO_2 ; c) Obtención de verdigrís por la corrosión de cobre provocada por el ácido acético del vinagre; d) Tostación del blanco de plomo a 480 °C. Obtención de minio (Pb_3O_4) después de 3 h.

El mordiente más habitual era el alumbre de potasa, que se encuentra en la naturaleza en forma de alunita [$\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$]. Durante la Edad Media y el Renacimiento este mineral constituyó un importante artículo de comercio. Asimismo, la extracción del tinte de sus fuentes naturales era posible gracias a la aplicación de procesos de fermentación o bien al empleo de álcalis.

El colorante más valorado en la antigüedad fue el púrpura, también conocido como *púrpura* de Tiro, imperial o antiguo. Se trata de una sustancia de origen animal producida por dos variedades de caracoles marinos: púrpura (*Murex brandis*) y buccinum (*Thais haemastroma*), ambos oriundos de la costa mediterránea (especialmente la costa este). El fluido extraído del molusco, inicialmente, es de color blanquecino (forma leuco), pero por la acción combinada del aire y la luz adquiere, en etapas sucesivas, las coloraciones amarilla, azul, verde y finalmente púrpura. Estas transformaciones cromáticas son debidas a la hidrólisis enzimática de los precursores del colorante, que son derivados del sufato-éster de indoxilo. Entre las sustancias finalmente formadas hay que destacar el

6,6'-dibromoindigo que proporciona un color violeta rojizo. La mejor calidad de colorantes se obtiene mezclando los extractos de ambos tipos de caracoles. La escasa cantidad producida por cada animal y la belleza del color resultante fue causa de su alto precio. Su uso era símbolo de elevado estatus social y quedó reservado a los gobernantes y altos cargos. Su proceso de obtención, usos y propiedades son descritos en textos clásicos.^[19]

El colorante azul *indigo* o añil ya era conocido en la antigüedad. Sus principios colorantes son similares a los del púrpura. Se extrae de las hojas de la *Indigofera* mediante fermentación e hidrólisis enzimática del indican (indoxilo- β -Dglucosido) y su consiguiente transformación en indoxilo, sustancia que en contacto con el aire se oxida dando lugar a la indigotina, principal componente del indigo. En medio alcalino adquiere la forma leuco-indigotina que es soluble y, en estas condiciones se utiliza como tinte. Sin embargo, la leuco-indigotina, soluble e incolora, en contacto con el oxígeno del aire, se transforma en la indigotina que es insoluble y, en este caso se puede utilizar como pigmento. Estas variaciones de comportamiento ya fueron conocidas en aquella época y, por ejemplo, los romanos no lo utilizaron como tinte, sino como pigmento. El azul *glasto* o pastel tiene una composición y características similares al indigo y, al igual que éste, también es conocido desde la antigüedad. Procede de las hojas de la planta *Isatis tinctoria*. En este caso, el precursor de la indigotina es el isatan B (indoxilo-5-cetogluconato) que, al igual que el indican, por hidrólisis enzimática se transforma en indoxilo y, posteriormente, se oxida a indigotina.^[20]

La planta productora del índigo (*Indigofera*) se producía en la India, mientras que la *Isatis tinctoria*, de la que se extrae el *glasto* es muy abundante en toda Europa. Por esta razón el uso de este segundo fue mucho más importante. Por ejemplo, éste es el tinte al que hace referencia Julio César cuando comenta que los guerreros celtas se pintan de azul para, de esta forma, parecer más fieros.

Otros colorantes muy valorados fueron el *quermes* y la *granza rubia*, ambos de color rojo. El primero se extrae de la hembra del insecto *Kermes vermilio* que vive en árboles como la encina y la coscoja. Tiene forma redondeada y color rojizo. Estas características unidas al hecho de que permanece sujeta a las ramas de la planta, son responsables de que en aquella época se le atribuyera un origen vegetal. Los autores clásicos nombran este colorante como *granum*, que significa baya, y del que deriva el término de *grana* con el que también es designado. El colorante se extraía machacando el insecto seco y tratándolo con lejía. Es de color rojo carmesí y sus principales componentes son los ácidos quermésico y flavoquermésico.^[21]

La *granza rubia* tiene origen vegetal y procede de la *granza* (*Rubia tinctorum*). Sus componentes pertenecen al grupo de las antraquinonas, mayoritariamente alizarina y purpurina. Originariamente, la primera se encuentra en forma glucosídica (ácido ruberítrico) y la segunda en su forma carboxilada (seudopurpurina). Con el paso de tiempo y una vez seca la raíz, la seudopurpurina experimenta un proceso de descarboxilación y se transforma en purpurina. El colorante se extrae de la raíz seca que, una vez reducida a polvo, se trata con agua caliente. El color amarillento inicial de la disolución adquiere finalmente un color rojizo, debido a la hidrólisis del ácido ruberítrico y su transformación en alizarina y glucosa.^[22] Este colorante no solo fue utilizado en procesos de tinción, sino que, ya en la antigüedad clásica, fue empleado

como pigmento en forma de laca,^[23] tal y como han constatado los análisis efectuados en pinturas murales de la época romana.^[24] Para llevar a cabo la tinción de las fibras con quermes o con granza es absolutamente imprescindible el empleo de mordientes. Sin embargo, el índigo, el glasto y la púrpura pueden ser aplicados directamente (colorantes a la tina).

Por último, entre las fuentes documentales de la época que aportan información sobre los materiales pictóricos, hay que destacar los textos de Teofrasto de Ereso (siglo IV a.C) y Vitrubio, Plinio y Dioscórides, todos ellos autores del siglo I. Mención especial merecen los Papiros de Leyden y Estocolmo (finales del siglo III - principios del IV d.C) que pueden ser considerados los primeros textos de alquimia en los que se hace mención expresa a materiales artísticos. Ambos contienen numerosas recetas, el primero se centra en la metalurgia y describe métodos para dorar, platear y colorear superficies metálicas; el segundo contiene recetas para teñir, mordentar y fabricar gemas artificiales. Asimismo, todos estos textos son un importante referente de la historia de la alquimia.

Edad Media

Durante la Alta Edad Media (siglos V–X), los pigmentos utilizados, a excepción del bermellón, fueron similares a los empleados anteriormente. Los textos de esta época que hacen referencia a la preparación de pigmentos son escasos y, normalmente, recogen recetas procedentes de otros anteriores. Algunos ejemplos notables son el *Ms. de Lucca* (750 – 800), el *Ms. de Heraclio* (siglo VIII) y el *Mappae Clavicula* (siglo IX con adiciones de los siglos XI–XII). Todos ellos son anónimos y fueron escritos en un ambiente monástico. Durante la Baja Edad Media (siglos XI–XV) aparecen diferentes tipos de textos que de una forma directa o indirecta aportan información sobre materiales artísticos (su forma de preparación, propiedades y aplicaciones). Por ejemplo, el *Ms. del Monje Teófilo* (siglos XI–XII), el *Libro de los Secretos* de Alberto Magno (1206–1280), el *Lapidario* de Alfonso X el Sabio (1221–1284), el *Ms. de Pietro de San Audemar* (siglo XIII), y de forma muy especial el tratado de Cennino Cennini (*El libro del Arte*) (siglo XIV).^[25]

El mejor pigmento rojo de los pintores medievales fue el *bermellón* (HgS), pigmento de origen sintético similar en composición y propiedades al cinabrio. Este último tuvo gran uso durante la antigüedad clásica, época en la que fue muy valorado, especialmente el procedente de Almadén. Sin embargo, pronto empezó a ser sustituido por la versión sintética. Parece ser que su proceso de obtención fue inventado en China y, alrededor del siglo IV, el alquimista griego Zósimo de Panópolis insinuó conocerlo, pero en realidad, las primeras referencias escritas en las que se describe su obtención aparecen en el *Ms. de Lucca* (*Composiciones ad tingenda musiva*), concretamente se trata de la receta O10–12, titulada "Operatio Cinnabarim".^[26] La importancia de este pigmento queda constatada por la descripción de su síntesis en otros textos como el del *Monje Teófilo* (*De diversis artibus* o *Schedula Diversarium Artium*) y el *Mappae Clavicula*. En todos los casos describen su obtención por "vía seca", partiendo de azufre y mercurio. Así, según se explica en el texto de Teófilo, se mezclan dos partes de azufre y una de mercurio (en peso), y se introducen en una redoma que se cierra con barro; una vez seco éste, el recipiente se pone sobre brasas de

carbón. Cuando se empieza a calentar, se oirá un ruido en su interior, indicativo de que el mercurio y el azufre se han mezclado. Cuando cesa el ruido se retira el recipiente, se abre y extrae el color.^[27] En realidad el producto así obtenido era de color negro y se volvía rojo al molturarse finamente.

La introducción del bermellón en el ámbito artístico se fue produciendo paulatinamente; en principio resultaba un material caro, al igual que el cinabrio, pero a principios del siglo XV su uso ya era muy habitual y su empleo se intensificó durante el Renacimiento.^[28] La relación entre este pigmento y la alquimia queda constatada por Cennini que así lo especifica y, además, recomienda que se compre ya fabricado y en un lingote entero. Esta segunda recomendación tiene relación con la costumbre fraudulenta de mezclarlo con polvo de ladrillo o minio. Igualmente, este autor hace referencia a la relación entre el verdigrís, al que denomina verde de cobre, y la alquimia.^[29]

Como se ha indicado, el *verdigrís* ya era conocido en la antigüedad clásica, sin embargo, es en la Edad Media cuando adquiere gran importancia como pigmento. Existen numerosas recetas en las que se describe su preparación y ha sido identificado en numerosas obras de arte.^[30] Al igual que los restantes pigmentos históricos ha sido designado con una gran variedad de términos. Algunos hacen referencia a su proceso de obtención (*verde rame*, *viridi salsum*, *viridis cupri*), otros a su procedencia geográfica (*verde español*, *verde Bizantino*, *verde de Rouan*, *verde de Grecia*, *verde de Montpellier*) o a sus propiedades (*verde corrosivum*, *verdet*, *verde cristalizado*). En España, tradicionalmente ha sido conocido como cardenillo.

Dependiendo de su proceso de obtención pueden obtenerse distintas variedades, en cuanto a composición y propiedades.^[31] En todos los casos se parte de cobre que se somete a la acción de un agente oxidante, siendo el más habitual el ácido acético contenido en el vinagre. También se puede utilizar sal común (NaCl), en lugar de o asociada al vinagre, o sal amónica (NH₄Cl) mezclada con orina. En general, como fuente calorífica, se prescribe el uso de estiércol de caballo. El tiempo que debe transcurrir para que se forme el pigmento varía desde quince días hasta seis meses. Esta diversidad de métodos son responsables de que bajo la actual denominación de verdigrís se incluyan sustancias de composiciones químicas diferentes, conocidas como: verdigrís básico [Cu_x(C₂H₃O₂)_y(OH)_z·nH₂O], verdigrís neutro [Cu(C₂H₃O₂)₂·nH₂O], y verde de sal [Cu_xCl_y(OH)_y·nH₂O].^[32]

A principios del siglo XIV empieza a utilizarse el *amarillo de plomo y estaño*, siendo su época de mayor uso la comprendida entre mediados del siglo XV y mediados del siglo XVIII. Químicamente es un óxido doble de plomo y estaño del que existen dos variedades, designadas como: tipo I – Pb₂SnO₄– y tipo II – Pb(Sn,Si)O₃–. Tiene su origen en la elaboración de la cerámica vidriada de color amarillo y como colorante para vidrio.^[33] Las recetas en las que se describe su método de obtención son muy escasas y, normalmente, aparecen recogidas dentro del contexto de la tecnología del vidrio.^[34] Por ejemplo, el texto anónimo del siglo XV, *Secreti per colori*, también conocido como *Ms. Boloñés* contiene una receta para preparar cuentas de vidrio de color amarillo, y otra para fabricar un pigmento amarillo (al que denomina "zallolino"). Su lectura lleva a la conclusión de que ambas tienen relación con el amarillo de plomo y estaño.^[35] A pesar de su

antigüedad y presencia constante en la paleta de los pintores del período histórico indicado, los primeros estudios relacionados con su composición fueron realizados por R. Jacobi en 1941.^[36] Investigaciones más recientes demuestran que la variedad tipo I se obtiene por calentamiento a 900 °C, durante 3 horas y en presencia de aire, de una mezcla de Pb_3O_4 y SnO_2 en la relación molar 2:3. Para la obtención del tipo II se mezcla el anterior con sílice en la relación molar 1:1 y se calienta a 900 °C durante 5 horas.^[37]

Aunque la técnica de la destilación ya era conocida en la antigüedad clásica, desde donde fue transmitida a los alquimistas árabes, los alambiques de aquella época no permitían un proceso de condensación eficiente, por lo que no facilitaban una buena separación de los productos destilados. En la Edad Media se introduce una importante modificación en su diseño, lográndose un mayor rendimiento del proceso.^[38] Estos avances permitieron la obtención de los ácidos minerales: ácido sulfúrico (H_2SO_4) (aceite de vitriolo), a partir del vitriolo verde ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), ácido nítrico (HNO_3) (agua fuerte), a partir de la sal de piedra (KNO_3), y el agua regia ($HNO_3 + 3HCl$, en volumen) a partir de sal de piedra y sal común ($KNO_3 + NaCl$). Dentro de estos ácidos, hay que destacar la importancia del agua fuerte en la técnica del grabado calcográfico.

Pero la destilación también tuvo una gran importancia en el ámbito de las técnicas pictóricas. Una de sus aportaciones está relacionada con la introducción de la pintura al óleo en el siglo XV. Aunque ya antes se pintaba con este aglutinante, Jan Van Eyck, gracias a sus conocimientos de alquimia, especialmente los referentes a la destilación, fue capaz de producir un aceite más fluido y de secado más rápido.^[3] Estas propiedades le conferían unas características muy interesantes para su uso como aglutinante de pigmentos. Además, la destilación mejoró los procesos de extracción de las sustancias colorantes a partir de sus materias primas: plantas (hojas, tronco, raíces, estigmas) o insectos. Optimizar este proceso supone etapas sucesivas de maceración, cocción, destilación, decantación o precipitación, filtrado, lavado y secado. Una vez seco, el colorante se vendía en forma de pastillas o trociscos. Asimismo, los procesos de tinción, mejoraron significativamente, al introducir notables avances en el uso de mordientes de alumbre. Sin embargo, por su elevado precio su empleo quedó reservado a la tintorería de lujo. Para los trabajos más económicos se utilizaban otras sustancias entre las que hay que destacar el tártaro, residuo que deja el vino en los recipientes en los que se conserva. A finales de la Edad Media, resultó frecuente emplear una mezcla de alumbre y tártaro, lo que permitía obtener un mordiente de suficiente calidad sin resultar excesivamente caro.^[39]

Los colorantes no solo tuvieron interés como tintes de tejidos. Algunos, especialmente los de color rojo, fueron utilizados en la elaboración de lacas rojas. Para ello, una vez obtenido el colorante que, con frecuencia, se extraía de restos de tejidos mediante su tratamiento con álcalis, se provocaba su precipitación mediante la adición de alumbre. De esta manera se lograba su adsorción sobre alúmina (Al_2O_3).^[40] Como ya se ha indicado anteriormente, este proceso fue conocido en la época romana y se aplicó para obtener laca de granza.

Durante toda la Edad Media el azul más valorado fue el *lapislázuli*, también conocido como ultramar natural. El uso

de la piedra de lapislázuli, se remonta al imperio persa, pero en aquella época estuvo limitado a la elaboración de esculturas y objetos ornamentales. Para su empleo como pigmento, fue necesario que transcurriesen muchos siglos, hasta desarrollar los procesos apropiados que permitieron separar la lazurita, aluminosilicato complejo responsable de su color $[(Na,Ca)_8(AlSiO_4)_6(SO_4,S,Cl)_2]$, de los restantes minerales que le acompañan en el yacimiento de origen (calcita y pirita, entre otros). El proceso de purificación es descrito detalladamente por Cennini y su lectura permite deducir que se trata de una tarea laboriosa que se fundamenta en el carácter hidrófobo de la pirita. Según explica este autor, el lapislázuli pulverizado se añade a una mezcla de resina de pino, almáciga y cera virgen. De esta manera se obtiene una pasta de la que se extrae la lazurita mediante la adición de lejía caliente y de la que se separa por decantación. El proceso se repite sucesivamente hasta que la lejía de lavado no adquiere coloración. Lógicamente, la calidad del pigmento va disminuyendo desde el primer extracto al último (cenizas de lapislázuli).^[29]

A todo lo anterior, hay que añadir que el yacimiento de explotación del lapislázuli se encontraba en Badakshan en la zona noroeste de Afganistán. Esta circunstancia unida a la complejidad de su purificación, fue responsable de su elevado precio. Por esta razón, su uso estuvo limitado por el presupuesto económico disponible para la ejecución de la obra. Frecuentemente, solía reservarse para las figuras de mayor importancia simbólica representadas en la pintura. Por otra parte, puesto que en aquella época Venecia era el principal centro de comercialización del pigmento, su empleo fue mucho más frecuente en Italia que en el resto de los países europeos.^[41]

Otro pigmento de origen sintético muy utilizado en la Edad Media fue el *resinato de cobre*. Su preparación está asociada al verdigrís, puesto que se obtiene mezclando éste con resina, trementina de Venecia u otro tipo de bálsamo. El resultado es una sustancia de color verde de carácter translúcido que, a modo de veladura, era aplicada sobre las capas de pintura de color verde. Su uso se inicia a finales de la Edad Media y se prolonga hasta el siglo XIX.^[42]

Por último hay que señalar que el blanco de plomo es el pigmento blanco más importante y su primacía se mantiene hasta el siglo XIX.

Siglos XV–XVII

En esta época se escriben muchos otros textos relacionados con los materiales artísticos. Sus autores fueron pintores o profesionales muy relacionados con el arte. No solo tratan de cuestiones prácticas en torno a la elaboración y uso de los distintos materiales, sino que además profundizan en el concepto del arte. Algunos son recopilaciones de otros que fueron escritos en épocas anteriores. Del siglo XV pueden destacarse los siguientes: Ms. de Johannes Archerius, constituido por dos recetarios (*De coloribus diversis modis tractatur* y *De Diversis coloribus*), Ms. de Estrasburgo, Ms. Boloñés (*"Secreti per Colori"*), Ms. de J. Le Begue (1431), *Los tres libros de la pintura* de Leon Bautista Alberti y *Tratado de la Pintura* (1487–1514) de Leonardo da Vinci. En los siglos XVI y XVII se escriben numerosos textos y algunos son importantes referentes de las distintas escuelas pictóricas europeas. Tal es el caso de los libros de: Francisco Pacheco,

El Arte de la Pintura (1649), Turquet de Mayerne, *Pictoria, Sculptoria, Tinctoria...* (1620) y Pierre Lebrun, *Recueil des essais des merveilles de la peinture* (1635). También resulta de gran interés la consulta de los libros de secretos, puesto que contienen numerosas recetas de preparación de pigmentos; entre ellos destaca *De Secretis* escrito por Alejo Piamontés en 1555.

La emergencia de una clase media de comerciantes y artesanos en el siglo XVI, deseosa de adquirir obras de arte y productos de lujo, origina un notable aumento de la demanda de materiales colorantes, por lo que estos productos se convirtieron en un importante objeto de comercio (Figura 2). Asimismo los avances de la alquimia del siglo XVII aumentan la diversidad de los pigmentos y colorantes y el perfeccionamiento en los procesos de tinción.^[43] A todo lo anterior hay que añadir las consecuencias de las grandes exploraciones marítimas y del descubrimiento de América que permiten acceder a países productores de especias y colorantes. Como ejemplo estaría el carmín de cochinilla procedente de América, cuya producción y comercio fue monopolizado por España.^[44] Respecto al uso de este colorante, hay que destacar la aportación del ingeniero holandés Cornelis Drebbel que hacia 1610 introduce el uso del cloruro de estaño como mordiente. Su empleo fue sistematizado por sus yernos, los hermanos Kuffler, y supuso un gran avance en la industria textil europea, puesto que mejoraba la calidad (brillo y durabilidad) de los tintes obtenidos con este colorante.

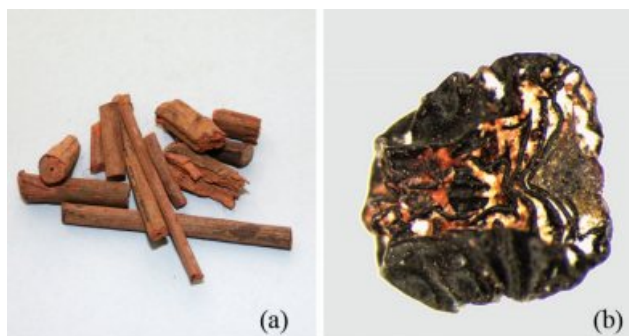


Figura 2. a) Fragmentos de raíz de granza, *Rubia tinctorum*, de la que se obtiene el colorante granza rubia; b) Cochinilla, *Dactylopius coccus*, insecto a partir del que se extrae el colorante carmín.

En el Renacimiento aparecen nuevos pigmentos asociados a la tecnología del vidrio. Uno de ellos es el *azul esmalte* o *esmalín*, cuyo descubrimiento, que se establece entre 1540 y 1560, es atribuido por algunos investigadores a Christoph Schürer, fabricante de cristal de la región de Bohemia. Sin embargo, por los análisis realizados en obras anteriores se ha demostrado que ya era conocido en el siglo XV. Se trata de un vidrio cuyo color azul es debido a la presencia de cobalto. A este respecto hay que indicar que los compuestos de cobalto ya eran empleados como colorantes de vidrio en la edad de bronce.^[45] El azul esmalte tiene el inconveniente de ser inestable aglutinado con aceite; con este aglutinante presenta una marcada decoloración. Sin embargo, es estable en medio acuoso (temple) y al fresco.^[46]

Hasta el siglo XVI la variedad de pigmentos amarillos de naturaleza inorgánica estuvo limitada a las tierras y ocreos amarillos, y al amarillo de plomo y estaño. En este siglo los

italianos logran preparar el antimoniato de plomo ($Pb_2Sb_2O_7$), al que se denominó *amarillo de Nápoles*.^[47] Al igual que en el caso del amarillo de plomo y estaño, su preparación estuvo asociada a la tecnología del vidrio y la cerámica. Su proceso de fabricación aparece descrito en *Le Tre Libri dell'Arte del Vasaio* (1556) de Cipriano Piccolpasso. Las primeras identificaciones de un compuesto similar datan de hace 3.500 años y corresponden a objetos de Egipto, Mesopotamia, Babilonia y culturas asirias. Estos primeros usos tienen relación con su empleo como colorante y opacificador de vidrio.^[48] Sin embargo, como pigmento se emplea mucho más tarde, c. 1500, y fue muy frecuente en el período 1750–1850.^[49]

En la literatura del siglo XVII son mencionados otros pigmentos de cobre de origen sintético; se trata del azul verditer [$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$] y el *verde verditer* [$Cu_2CO_3(OH)_2$]. El primero es la versión sintética de la azurita y el segundo de la malaquita. El azul verditer se conoce también como verditer de Refiner, azul de plata, azul bice, azul de cenizas y azul de montaña, entre otras denominaciones. Existen numerosas recetas para su preparación, pero la más importante hace referencia a la adición de cal (CaO) o potasa (K_2O) y sal amónica (NH_4Cl) a una disolución de una sal soluble de cobre, como por ejemplo, vitriolo azul [sulfato de cobre (II) pentahidratado - $CuSO_4 \cdot 5H_2O$]. El proceso va acompañado de la precipitación del pigmento [$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$]. Este producto fue considerado el sustituto más económico de la azurita y el azul lapislázuli; ha sido identificado en manuscritos iluminados de origen inglés de principios del siglo XVII y su uso se extiende a lo largo del siglo XVIII.^[50]

Respecto al verde verditer otras denominaciones son verde bice, verde Bremen, verde granillo y verde montaña. Una de sus formas de obtención es añadiendo carbonato de sodio (Na_2CO_3) a una disolución de vitriolo azul [$CuSO_4 \cdot 5H_2O$], lo que provoca la precipitación del pigmento [$Cu_2CO_3(OH)_2$]. Aunque su composición química y estructura cristalina son idénticas a la de la malaquita, la morfología de sus partículas es muy diferente. El verde verditer se caracteriza por la forma esferulítica de sus partículas. Ha sido identificado en pintura sobre tabla del siglo XV y es mencionado en la literatura de los siglos XVII al XIX. Fue menos utilizado que el azul verditer y en la actualidad no se emplea.^[51]

Conclusiones

Los pigmentos y colorantes han sido utilizados durante toda la historia de la humanidad y, desde la antigüedad, han estado directamente asociados a las manifestaciones culturales de las distintas civilizaciones. Por la belleza de su colorido y las dificultades de su preparación, tradicionalmente, algunos han tenido una correspondencia simbólica relacionada con el poder, estatus social y situación económica. En muchos casos, incluso constituyeron un importante artículo de comercio.

Desde los inicios de la alquimia ha existido relación entre ésta y la producción de nuevos pigmentos, así como con las técnicas asociadas a la extracción de colorantes y procesos de tinción. Esta vinculación ha favorecido la obtención de numerosos pigmentos de origen artificial, y la paulatina aparición de estos nuevos productos, ha permitido aumentar la gama de colores utilizados en el arte, así como la sustitución de ciertos pigmentos de origen natural de elevado precio.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Proyecto de Investigación HUM2005-04618, financiado por el MEC. Los autores pertenecen al grupo de investigación 930420 de la UCM subvencionado en la convocatoria GR58/08

Bibliografía

- [1] a) J. Gage, *Colour and Culture*, Thames and Hudson, Singapore, **1993**; b) P. Ball, *La invención del color*, Turner, Madrid, **2001**; c) F. Delamare; B. Gineau, *Los Colores. Historia de los Pigmentos y Colorantes*, B, Barcelona, **2000**.
- [2] a) W. H. Brock, *Historia de la Química*, Alianza Editorial, Madrid, **1998**; b) E. J. Holmyard, *Alchemy*, Dover Publications, New York, **1990**; c) R. P. Multhaupt, *The Origins of Chemistry*, Olburne, London, **1966**.
- [3] H. Gelbelein, *Secretos de la Alquimia*, Robinbook, Barcelona, **2007**.
- [4] R. J. Gettens, G. L. Stout, *Painting Materials. A short Encyclopedia*, Dover Publications, New York, **1966**.
- [5] A. G. García, J. R. Bertomeu *Nombrar la materia. Una introducción histórica a la terminología química*, Del Serbal, Barcelona, **1999**.
- [6] a) S. Bordini, *Materia e imagen. Fuentes sobre las técnicas de la pintura*, Del Serbal, Barcelona, **1995**; b) M. Clarke, *The Art of all Colours. Mediaeval Recipe Books for Painters and Illuminators*, Archetype Publications, London, **2001**; c) *Art of the Past: Sources and Reconstruction*, (Eds.: M. Clarke, J. H. Townsend, A. Stijman) Archetype Publications, London, **2005**; d) *Art Technology. Sources and Methods*, (Eds.: S. Kroustallis, J. H. Townsend, E. Bruquetas, A. Stijman, M. San Andrés), Archetype Publications, London, **2008**.
- [7] a) B. Stuart, *Analytical Techniques in Materials Conservation*, Wiley & Sons, Chichester, **2007**; b) M. L. Gómez González, *La Restauración. Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*, Cuadernos de Arte Cátedra, Madrid, **1998**.
- [8] M. P. Pomies, M. Menu, C. Vignaud, en *Art et Chimie* (Eds.: J. Goupy, J. P. Mohen), CNRS Editions, Paris, **2000**, pp. 22–27.
- [9] a) J. R. Partington, *Historia de la Química*, Espasa-Calpe, Madrid, **1945**; b) J. M. Stillman, *The Story of Alchemy and early Chemistry*, Dover Publications, New York, **1960**, pp. 1–77.
- [10] J. Riederer en *Artists' Pigments. A handbook of their history and Characteristics*, Vol. 3, (Ed.: E. W. Fitzhugh), Oxford University Press, Oxford, **1997**, pp. 323–45.
- [11] a) N. Eastaugh, V. Walsh, T. Chaplin, R. Siddall, *Pigment Compendium. A Dictionary of Historical Pigments*, Elsevier, Oxford, **2004**; b) T. Pradell, N. Salvado, G. D. Hatton, M. S. Tite, *J. Am. Ceram. Soc.*, **2006**, *89*, 1426–1431.
- [12] a) S. Pagès-Camagna, S. Colinart *Archaeometry*, **2003**, *45*, 637–658; b) G. C. Hatton, A. J. Shortland, M. S. Tite, *J. Archaeol. Sci.* **2008**, *35*, 1591–1604.
- [13] P. Dioscórides, *Acerca de la materia medicinal y de los venenos mortíferos* (siglo I). Trad. y com. de A. de Laguna (1566), Arte y Bibliofilia, Madrid, **1983**.
- [14] E. R. Caley, *J. Chem. Educ.* **1927**, *4*, 979–1002.
- [15] a) S. F. Dornheim, M. San Andrés, en *Actas XV Congreso Nacional de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Vol 1, **2004**, pp. 535–546; b) S. F. Dornheim, M. San Andrés, J. M. de la Roja, en *Proceedings AIC Colour 05*, Part 2, **2005**, pp. 1437–1440; c) M. San Andrés, V. G. Baonza, J. M. De la Roja, S. D. Dornheim, en *Proceedings Lacona VII*. Taylor&Francis Group, London, **2008**, pp. 89–94.
- [16] F. T. Walton, *Greece & Rome*, **1946**, *15*, 68–73.
- [17] J. H. Hofenk de Graaff, *The Colourful Past. Origins, Chemistry and Identification of Natural Dyestuffs*, Archetype Publications, London, **2004**.
- [18] a) E. R. Caley, *J. Chem. Educ.* **1926**, *3*, 1149–1166 ; b) E. R. Caley, *J. Chem. Educ.* **1927**, *4*, 979–1002.
- [19] a) D. Cardon, *Le monde des teintures naturelles*, Belin, Paris, **2003**; K. C. Bailey, *The Elder Pliny's Chapters on Chemical Subjects* (from his *Historia Naturalis*) (siglo I), 2 Vol., Edward Arnold, London, **1929–1932**; J. Castañeda, *De architectura. Compendio de Los Diez Libros de Arquitectura de Marco Lucio Vitruvio* (27 a.C), trad. J. Castañeda, introd. J. Bérchez Gómez, Impr. G. Ramírez, Madrid, **1761**.
- [20] H. Schweeppe, en *Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics*, Vol. 3, (Ed.: E. W. Fitzhugh), Oxford University Press, Oxford, **1997**, pp. 81–107.
- [21] a) M. I. Báez, M. San Andrés, *Pátina*, **1999**, *9*, 124–134, b) H. Schweeppe, H. Roosen-Runge, en *Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics*, Vol. 1, (Ed.: R. L. Feller), Oxford University Press, Oxford, **1986**, pp. 255–283.
- [22] H. Schweeppe, J. Winter, en *Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics*, Vol. 3, (Ed.: E. W. Fitzhugh), Oxford University Press, Oxford, **1997**, pp. 109–142.
- [23] Para la preparación de lacas, el colorante es tratado con alumbre.
- [24] V. Guichard, B. Guineau, en *Actas Colloque International du CNRS, Pigments & Colorants de l'Antiquité et du Moyen Age*, Editions du CNRS, Paris, **1990**, pp. 245–254.
- [25] M. I. Báez; M. San Andrés, *PH. Bol. Inst. Andal. Patrim. Hist.*, **2001**, *34*, 64–77.
- [26] H. Hedfors, *Compositiones ad tingenda musiva* ("*Lucca Manuscript*"), (c. 796–816), Almqvist & Wiksells Boktryckeri, Uppsala, **1932**.
- [27] *Teophilus' De Diversis artibus: The Various Arts*, (Ed: C. R. Dodwell), Thomas Nelson & Sons, London, **1961**.
- [28] M. I. Báez, M. San Andrés, *Pátina*, **2003**, *12*, 155–172.
- [29] C. Cennini, *El Libro del Arte*, com. y anot. por G. Brunillo, Akal, Madrid, **2002**.
- [30] D. Scott, Y. Taniguchi, E. Koseto, *Reviews in Conservation*, **2001**, *2*, 75–91.
- [31] a) J. M. de la Roja, V. G. Baonza, M. San Andrés, *Spectroquim. Acta, Part A*, **2007**, *68*, 1120–1125; b) J. M. de la Roja, M. San Andrés, N. Sancho, S. Santos, *Color Res. Appl.* **2007**, *32*, 414–423.
- [32] H. Kühn, en *Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics*, Vol. 2, (Ed.: A. Roy), Oxford University Press, Oxford, **1993**, pp. 131–147.
- [33] Se ha constatado su uso en la elaboración de vidrio amarillo del siglo VII: M. Heck, Th. Rehren, P. Hoffmann, *Archaeometry*, **2003**, *45*, 33–43.
- [34] H. Kühn, en *Artists' Pigments. A Handbook of their His-*

- tory and Characteristics*, Vol. 2, (Ed.: A. Roy) Oxford University Press, Oxford, **1993**, pp. 83–112.
- [35] M. P. Merrifield, *Medieval and renaissance treatises on the arts of painting. Original texts with English translations*, 1ª ed. 1849, introd. y glos. de M. S. Alexander, Dover Publications, New York, **1999**.
- [36] R. Jacobi, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **1941**, *54*, 28–29.
- [37] R. J. H. Clark, L. Cridland, B. M. Kariuki, K. D. M. Harris, R. Withnall, *J. Chem. Soc. Dalton Trans.*, **1995**, *16*, 2577–2582.
- [38] Estas mejoras estuvieron relacionadas con el perfeccionamiento de la calidad del vidrio, lograda por artesanos italianos: H. M. Leicester, *Panorama Histórico de la Química*, Alhambra, Madrid, **1967**.
- [39] D. Cardon, *Le monde des teintures naturelles*, Belin, Paris, **2003**.
- [40] M. I. Báez, M. San Andrés, *Pátina*, **2001**, *10 y 11*, 72–186.
- [41] a) J. Plesters, en *Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics*, Vol. 2, (Ed.: A. Roy), Oxford University Press, Oxford, **1993**, pp. 37–54; b) D. Bomford, J. Dunkerton, D. Gordon, A. Roy, *La Pintura Italiana hasta 1400*, Del Serbal, Barcelona, **1995**.
- [42] a) H. Kühn, en *Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics*, Vol. 2, (Ed.: A. Roy), Oxford University Press, Oxford, **1993**, pp. 148–158; b) R. Billinge, L. Campbell, J. Dunkerton, S. Foister, J. Kirby, J. Pile, A. Roy, M. Spring, R. White, *National Gallery, Technical Bulletin*, **1997**, *18*, 68–86; c) H. Howard, *Pigments of english medieval wall painting*, Archetype Publications, London, **2003**.
- [43] En el siglo XVII se hace más común el empleo de métodos cuantitativos, ensayos de solubilidad y análisis cristalográficos: A. G. Debus, *El hombre y la naturaleza en el Renacimiento*, Fondo de Cultura Económica, México, **1985**.
- [44] R. Bruquetas, *Técnicas y materiales de la pintura española en los siglos de oro*, Fundación de Apoyo a la Historia del Arte Hispánico, Madrid, **2000**.
- [45] Th. Rehren, *Archaeometry*, **2001**, *43*, 483–489.
- [46] B. Mühlethaler, J. Thissen, en *Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics*, Vol. 2, (Ed.: A. Roy), Oxford University Press, Oxford, **1993**, pp. 113–130.
- [47] J. Dik, E. Hermens, R. Peschar, H. Schenk, *Archaeometry*, **2005**, *47*, 593–607.
- [48] A. J. Shortland, *Archaeometry*, **2002**, *44*, 517–530.
- [49] a) R. D. Harley, *Artists' Pigments c.1600–1835*, Butterworths, London, **1982**; b) U. Santamaria, P. Moioli, C. Seccaroni, en *Art et Chimie. La Couleur*, (Eds.: J. Goupy, J. P. Mohen), CNRS Editions, Paris, **2000**, pp. 38–42.
- [50] R. G. Gettens, E. W. Fitzhugh, en *Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics*, Vol. 2, (Ed.: A. Roy), Oxford University Press, Oxford, **1993**, pp. 23–35.
- [51] R. G. Gettens, E. W. Fitzhugh, en *Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics*, Vol. 2, (Ed.: A. Roy), Oxford University Press, Oxford, **1993**, pp. 183–202.



**10th European Conference
on Atoms, Molecules and Photons**

**ecamp10
salamanca**

4-9 July 2010 Palacio de Congresos Salamanca

www.ecamp10.com