



Universidad de Valladolid

TRABAJO FIN DE MÁSTER

LA QUÍMICA Y EL ARTE DE LA PINTURA



Máster Universitario en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas

Autora: Marina Villafañe Alonso

Tutor: Dr. Luis Debán Miguel

2016/2017

ÍNDICE

1. RESUMEN	3
2. REVISIÓN DEL CURRÍCULUM DE ESO Y BACHILLERATO	4
3. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS	12
4. INTRODUCCIÓN	14
4.1. El color	14
4.2. Pintura	16
4.3. Los pigmentos a lo largo de la historia	22
5. PIGMENTOS AZULES	26
5.1. Azurita	26
5.2. Azul cobalto	30
5.3. Azul ultramar	32
6. PIGMENTOS VERDES	34
6.1. Malaquita	34
7. PIGMENTOS AMARILLOS	37
7.1. Oropimente	37
8. PIGMENTOS ROJOS	40
8.1. Minio	40
8.2. Bermellón	42
9. PIGMENTOS VIOLETAS	46
9.1. Violeta de cobalto	46
10. PIGMENTOS BLANCOS	49
10.1. Blanco de plomo	49
11. PROPUESTA DE ACTIVIDADES DIDÁCTICAS	52
11.1. Tabla-resumen de los pigmentos	52
11.2. Cuestiones acerca de los pigmentos	52
12. CONCLUSIONES	53
13. BIBLIOGRAFÍA	54
14. ANEXOS	56
14.1. Anexo I. Azurita	56
14.2. Anexo II. Azul cobalto	58
14.3. Anexo III. Azul ultramar	59
14.4. Anexo IV. Malaquita	60
14.5. Anexo V. Oropimente	61
14.6. Anexo VI. Minio	63
14.7. Anexo VII. Bermellón	64
14.8. Anexo VIII. Violeta de cobalto	65
14.9. Anexo IX. Blanco de plomo	67

1. RESUMEN

La pintura ha estado presente desde la prehistoria y a lo largo de toda la historia en la vida y el entorno de la humanidad y guarda una estrecha relación con la química y la física, materias impartidas en la Educación Secundaria Obligatoria y en el Bachillerato. El objetivo de este Trabajo Fin de Máster es transmitir a los alumnos el vínculo que algo tan cotidiano como la pintura guarda con dichas materias. En primer lugar, se menciona muy brevemente el fundamento del color, así como la razón de por qué una sustancia presenta o no efecto coloreado. También se tratan conceptos relacionados con la pintura y sus componentes. Posteriormente, se hace un breve repaso del uso de los pigmentos, tanto naturales como artificiales, a lo largo de la historia y en distintas civilizaciones. El núcleo fundamental de este trabajo lo ocupan nueve pigmentos que abarcan varias tonalidades. Estos se han escogido atendiendo fundamentalmente a dos criterios: la facilidad a la hora de sintetizarlos en el laboratorio y/o su relevancia histórica. De cada uno de los nueve pigmentos se comentará el contexto histórico que lo enmarca, su obtención química y algunas de sus propiedades físico-químicas. Por último, se han preparado unas cuestiones sobre estos pigmentos que incluyen tanto preguntas teóricas como experiencias de laboratorio con el objetivo de que el alumno pueda razonar y aplicar sus conocimientos químicos a las diferentes cuestiones planteadas.

2. REVISIÓN DEL CURRÍCULUM DE ESO Y BACHILLERATO

Este Trabajo Fin de Máster está planteado para desarrollarlo con alumnos de 2º de Bachillerato de la modalidad de ciencias, debido a que la mayor parte de los conceptos y conocimientos que aparecen a lo largo del trabajo se estudian en las asignaturas de Ciencias Aplicadas a la Actividad Profesional de 4º de ESO, Física de 2º de Bachillerato, Química de 2º de Bachillerato y Física y Química de 2º, 3º y 4º de ESO y 1º de Bachillerato.

Como este trabajo trata mayoritariamente del color y los pigmentos, también cabe mencionar las asignaturas de Dibujo Artístico de 1º de Bachillerato, Educación Plástica, Visual y Audiovisual de 1º, 3º y 4º de ESO y Técnicas de expresión Gráfico-Plásticas en 2º de Bachillerato.

A continuación se van a comentar brevemente los contenidos de cada una de las asignaturas mencionadas, obtenidos del BOCYL [1], que se relacionan con este Trabajo Fin de Máster, especificando en cada caso el nombre de la asignatura, el curso y el bloque al que pertenece.

– Ciencias Aplicadas a la Actividad Profesional

Tabla 1: Conceptos de la asignatura de Ciencias Aplicadas a la Actividad Profesional de 4º de ESO

Curso	Asignatura	Bloque	Conceptos
4º ESO (Enseñanzas Aplicadas)	Troncal de opción	I. Técnicas instrumentales básicas	Trabajo en el laboratorio, Sustancias puras y mezclas, Disoluciones, Métodos de separación

– Física

Tabla 2: Conceptos de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato

Curso	Asignatura	Bloque	Conceptos
2º Bachillerato	Troncal de opción	IV. Ondas	Color, Longitud de onda, Espectro electromagnético

– Química

Tabla 3: Conceptos de la asignatura de Química de 2º de Bachillerato

Curso	Asignatura	Bloque	Conceptos
2º Bachillerato	Troncal de opción	I. La actividad científica	Trabajo en el laboratorio
		III. Reacciones químicas	Solubilidad, Ácido/Base, Oxidación/Reducción, Reacción química
		IV. Síntesis orgánica y nuevos materiales	Química orgánica

– Física y Química

Tabla 4: Conceptos de la asignatura de Física y Química de 1º, 2º, 3º y 4º de ESO y 1º de Bachillerato

Curso	Asignatura	Bloque	Conceptos
2º ESO	Troncal general	I. La actividad científica	Trabajo en el laboratorio
		II. La materia	Partícula, Formulación y nomenclatura inorgánica, Estado de agregación/Cambio de estado, Sustancias puras y mezclas, Disoluciones, Métodos de separación
3º ESO	Troncal general	I. La actividad científica	Trabajo en el laboratorio
		II. Los cambios	Reacción química, Cambios físicos y químicos
4º ESO (Enseñanzas Académicas)	Troncal de opción	IV. La materia	Formulación y nomenclatura inorgánica, Química orgánica
		V. Los cambios	Ácido/Base, Partícula, Reacción química
1º Bachillerato	Troncal general	II. Aspectos cuantitativos de la química	Sustancias puras y mezclas, Disoluciones
		III. Reacciones químicas	Formulación y nomenclatura inorgánica, Reacción química
		V. Química del carbono	Química orgánica

– Dibujo Artístico I

Tabla 5: Conceptos de la asignatura de Dibujo Artístico de 1º de Bachillerato

Curso	Asignatura	Bloque	Conceptos
1º Bachillerato	Específica de opción a)	V. El color	Pigmento

– Educación Plástica, Visual y Audiovisual

Tabla 6: Conceptos de la asignatura de Educación Plástica, Visual y Audiovisual de 1º, 3º y 4º de ESO

Curso	Asignatura	Bloque	Conceptos
1º ESO	Específica	I. Expresión plástica	Color, Pigmento
3º ESO	Específica de opción	I. Expresión plástica	Color, Pigmento
4º ESO (Enseñanzas Académicas y Aplicadas)	Específica de opción	I. Expresión plástica	Color

– Técnicas de Expresión Gráfico-Plásticas

Tabla 7: Conceptos de la asignatura de Técnicas de Expresión Gráfico-Plásticas de 2º de Bachillerato

Curso	Asignatura	Bloque	Conceptos
2º Bachillerato	Específica de opción a)	I. Materiales	Pigmento, Aglutinante, Disolvente
		III. Técnicas de pintura	Pintura

Es decir, los alumnos que hayan cursado las asignaturas comentadas, **Tablas 1-7**, tendrán mayor facilidad para comprender la información que se muestra en este trabajo. En las **Tablas 8-14** se muestran las materias de cada uno de los cursos de ESO y bachillerato, divididas en función de si estas son troncales generales, troncales de opción, específicas, específicas de opción, específicas a), específicas b) o de libre configuración. En **negrita** se señalan dichas materias.

Tabla 8: Asignaturas del curso 1º de ESO

1º ESO	
Asignaturas	Tipo
Geografía e Historia	Troncal general
Lengua Castellana y Literatura	
Matemáticas	
Primera Lengua Extranjera	
Biología y Geología	
Educación Física	Específica
Religión o Valores Éticos	
Educación Plástica, Visual y Audiovisual	
Tecnología	
Segunda Lengua Extranjera	Libre configuración (elegir 1)
Conocimiento del Lenguaje, materia de refuerzo de Lengua Castellana y Literatura	
Conocimiento de las Matemáticas, materia de refuerzo de Matemáticas	

Tabla 9: Asignaturas del curso 2º de ESO

2º ESO	
Asignaturas	Tipo
Geografía e Historia	Troncal general
Lengua Castellana y Literatura	
Matemáticas	
Primera Lengua Extranjera	
Física y Química	
Educación Física	Específica
Religión o Valores Éticos	
Música	
Cultura Clásica	
Segunda Lengua Extranjera	Libre configuración (elegir 1)
Conocimiento del Lenguaje, materia de refuerzo de Lengua Castellana y Literatura	
Conocimiento de las Matemáticas, materia de refuerzo de Matemáticas	

Tabla 10: Asignaturas del curso 3º de ESO

3º ESO	
Asignaturas	Tipo
Geografía e Historia	Troncal general
Lengua Castellana y Literatura	
Primera Lengua Extranjera	
Biología y Geología	
Física y Química	
Matemáticas Orientadas a las Enseñanzas Académicas	Troncal de opción (elegir 1)
Matemáticas Orientadas a las Enseñanzas Aplicadas	
Educación Física	Específica
Religión o Valores Éticos	
Educación Plástica, Visual y Audiovisual	Específica de opción (elegir 2)
Tecnología	
Música	
Segunda Lengua Extranjera	Libre configuración (elegir 1)
Iniciación a la Actividad Emprendedora y Empresarial	
Otras materias ofertadas	

Tabla 11: Asignaturas del curso 4º de ESO en la opción de Enseñanzas Académicas

4º ESO Enseñanzas Académicas	
Asignaturas	Tipo
Geografía e Historia	Troncal general
Lengua Castellana y Literatura	
Matemáticas Orientadas a las Enseñanzas Académicas	
Primera Lengua Extranjera	
Biología y Geología	Troncal de opción (elegir 2)
Física y Química	
Economía	
Latín	
Educación Física	Específicas
Religión o Valores Éticos	

Tabla 11: Continuación

4º ESO Enseñanzas Académicas	
Asignaturas	Tipo
Cultura Científica	Específica de opción (elegir 2 específicas de opción o 1 específica de opción y 1 de libre configuración)
Cultura Clásica	
Música	
Educación Plástica, Visual y Audiovisual	
Tecnologías de la Información y la Comunicación	
Segunda Lengua Extranjera	Libre configuración
Educación Financiera	
Programación Informática	
Otras materias ofertadas	

Tabla 12: Asignaturas del curso 4º de ESO en la opción de Enseñanzas Aplicadas

4º ESO Enseñanzas Aplicadas	
Asignaturas	Tipo
Geografía e Historia	Troncal general
Lengua Castellana y Literatura	
Matemáticas Orientadas a las Enseñanzas Aplicadas	
Primera Lengua Extranjera	
Ciencias Aplicadas a la Actividad Profesional	Troncal de opción (elegir 2)
Iniciación a la Actividad Emprendedora y Empresarial	
Economía	
Tecnología	Específicas
Educación Física	
Religión o Valores Éticos	Específica de opción (elegir 2 específicas de opción o 1 específica de opción y 1 de libre configuración)
Cultura Científica	
Cultura Clásica	
Música	
Educación Plástica, Visual y Audiovisual	
Tecnologías de la Información y la Comunicación	Libre configuración
Segunda Lengua Extranjera	
Educación Financiera	
Otras materias ofertadas	

Tabla 13: Asignaturas del curso 1º de Bachillerato en la modalidad de Ciencias

1º Bachillerato	
Asignaturas	Tipo
Filosofía	Troncal general
Lengua Castellana y Literatura I	
Matemáticas I	
Primera Lengua Extranjera I	
Física y Química	
Biología y Geología	Troncal de opción (elegir 1)
Dibujo Técnico I	
Educación Física	Específicas
Análisis Musical I	Específica de opción a) (elegir 1)
Anatomía Aplicada	
Dibujo Artístico I	
Dibujo Técnico I	
Lenguaje y Práctica Musical	
Tecnología Industrial I	
Volumen	
La asignatura troncal de opción no cursada	
Cultura Científica	Específica de opción b) (elegir 1)
Religión	
Segunda Lengua Extranjera I	
Tecnologías de la Información y la Comunicación I	

Tabla 14: Asignaturas del curso 2º de Bachillerato en la modalidad de Ciencias

2º Bachillerato	
Asignaturas	Tipo
Historia de España	Troncal general
Lengua Castellana y Literatura II	
Matemáticas II	
Primera Lengua Extranjera II	
Biología	Troncal de opción (elegir 2)
Geología	
Dibujo Técnico II	
Física	
Química	
Análisis Musical II	Específica de opción a) (elegir 1)
Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente	
Dibujo Artístico II	
Dibujo Técnico II	
Fundamentos de Administración y Gestión	
Historia de la Filosofía	
Segunda Lengua Extranjera II	
Técnicas de Expresión Gráfico-Plástica	
Tecnología Industrial II	
Una asignatura troncal de opción no cursada	
Historia de la Música y de la Danza	
Imagen y Sonido	
Psicología	
Tecnologías de la Información y la Comunicación II	

3. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS

Con este trabajo se pretende que los alumnos se den cuenta de que la química y la física los acompañan en su día a día. Se ha escogido la pintura como ejemplo común en la vida de cualquier persona. Por tanto, el objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster es relacionar la pintura y, más concretamente, los pigmentos que la componen con la química, ya que guardan una estrecha relación.

A continuación, se van a detallar los diferentes puntos en los que se divide el trabajo, justificando en cada caso la elección de los mismos. Durante todo el trabajo se especifica la fórmula química de todos los elementos y compuestos mencionados.

- Una introducción en la que se van a tratar las siguientes ideas:
 - El color como fenómeno físico principal de un pigmento.
 - La pintura, definiendo el concepto y sus componentes principales.
 - Una breve cronología de los pigmentos empleados a lo largo de la historia.
- Los pigmentos se van a dividir en función de su color. En cada grupo se van a nombrar los más comunes (tanto naturales como artificiales), proporcionándose para algunos de ellos la siguiente información:
 - Una breve introducción del pigmento, indicando su fórmula química, nombre y alguna característica particular que lo caracterice.
 - Elaboración química.

Debido a que en el curso de 2º de Bachillerato los alumnos ya tienen suficientes conocimientos acerca de formulación y nomenclatura inorgánica, preparación de disoluciones, material de laboratorio, etc., se va a comentar a lo largo de este trabajo la obtención de nueve pigmentos de fácil elaboración (cuatro naturales y cinco artificiales) que presentan un importante interés artístico con el fin de que los alumnos sean capaces de sintetizarlos en el laboratorio.

- Propiedades físico-químicas e identificación química

Comentar las propiedades físico-químicas de los pigmentos tiene una doble finalidad. Por un lado, predecir cuál será su comportamiento frente a agentes externos, el entorno que los rodea (temperatura, etc.), la acción de otras sustancias (H_2O , CO_2 , etc.) y el paso del tiempo.

Por otro lado, explicar las reacciones químicas que permiten la identificación de los distintos pigmentos. Solamente se va a trabajar con aquellas propiedades que sean detectables a simple vista, es decir, que no requieran técnicas instrumentales y que permitan un análisis sencillo, como la solubilidad, el carácter ácido-base o la capacidad oxidorreductora.

- Aspecto microscópico

Es posible realizar un análisis del pigmento mediante el microscopio óptico para conocer su opacidad o la forma y tamaño de partícula.


4. INTRODUCCIÓN

4.1. El color

Antes de comenzar a hablar de pinturas, hay que introducir el tema del color porque es un pilar fundamental en el arte y, más concretamente, en el arte de la pintura.

El color se puede definir como una percepción visual que se produce en el cerebro cuando este interpreta las señales nerviosas que le llegan a través de la retina del ojo y que son consecuencia de las longitudes de onda procedentes de la zona visible (380-780 nm) del espectro electromagnético. La luz de cada una de estas longitudes de onda se percibe en el cerebro como un color distinto, como se observa en la **Tabla 15**, y la suma de todas ellas da lugar a la luz blanca.

Tabla 15: Regiones de la zona visible del espectro electromagnético



Color	Longitud de onda (nm)
Violeta	380-450
Añil	450-475
Cian	475-495
Verde	495-570
Amarillo	570-590
Naranja	590-620
Rojo	620-750

La retina se estimula porque en ella hay tres tipos de células sensibles al color. Cada una de ellas percibe uno de estos colores: azul, verde y rojo, que corresponden a una longitud de onda determinada del espectro visible.

Desde la perspectiva de la física, la combinación de dos de los tres colores anteriormente mencionados (rojo-verde, azul-rojo o azul-verde) da lugar a otros tres colores (amarillo, magenta y cian, respectivamente), lo que se denomina mezcla aditiva. La combinación dos a dos de estos seis colores produce los llamados colores complementarios. Todos ellos se muestran en la **Figura 1**.

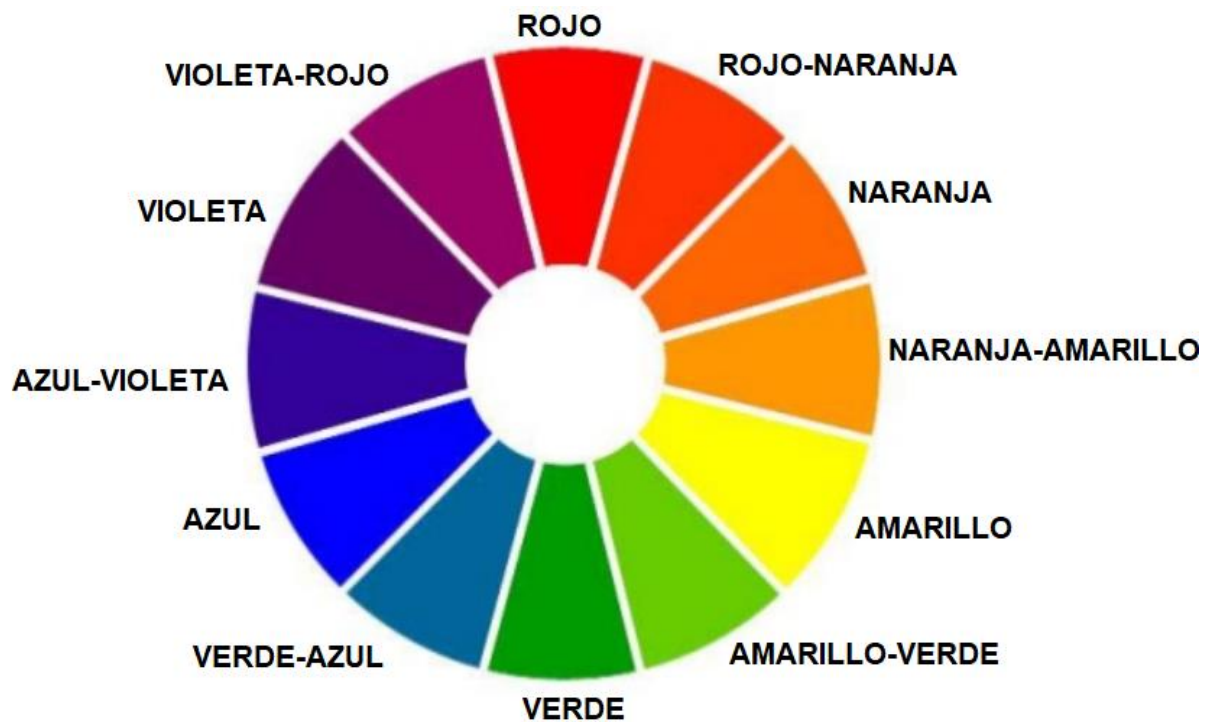


Figura 1: Rueda de colores

Las sustancias coloreadas son aquellas que absorben luz en la región visible del espectro electromagnético. El color que exhibe una sustancia es el complementario del que absorbe ya que este último se resta de la luz reflejada o transmitida por dicha sustancia. Las sustancias que no absorben luz visible son blancas o incoloras. Y las que absorben todas las longitudes de onda son negras.

La pintura, como expresión de realidad o fantasía, necesita más tonalidades que las siete principales del espectro visible. Es posible obtenerlas a partir de productos de diferente composición química, ya sean naturales o artificiales. Fue entonces cuando se empezó a desarrollar la química de las pinturas.

4.2. Pintura

La pintura está vinculada a la química y a la física en una proporción muy importante. La expresividad se logra a través de efectos visuales, para lo que son imprescindibles el trazo y el color, aunque no se debe perder de vista la importancia de la perdurabilidad. Para ambas cosas es absolutamente necesaria la utilización de compuestos químicos, más o menos complejos dependiendo de las épocas y de su accesibilidad. Así, en tiempos remotos, las pinturas sobre roca solamente eran posibles con sustancias naturales, generalmente óxidos de metales presentes en diferentes tipos de minerales vinculados al territorio donde se realizaban las pinturas. Posteriormente, cuando la pintura pasa a plasmarse en tablas, telas y otros soportes, se hace imprescindible la utilización de materiales que fijen y mantengan la adherencia sobre el material soporte.

4.2.1. Componentes de las pinturas

Los componentes básicos de las pinturas, **Figura 2**, son los pigmentos, el vehículo, (formado por los aglutinantes y los disolventes) y los aditivos, que se encuentran en una proporción del 7-8%, 30%, 60%, 2-3%, respectivamente.

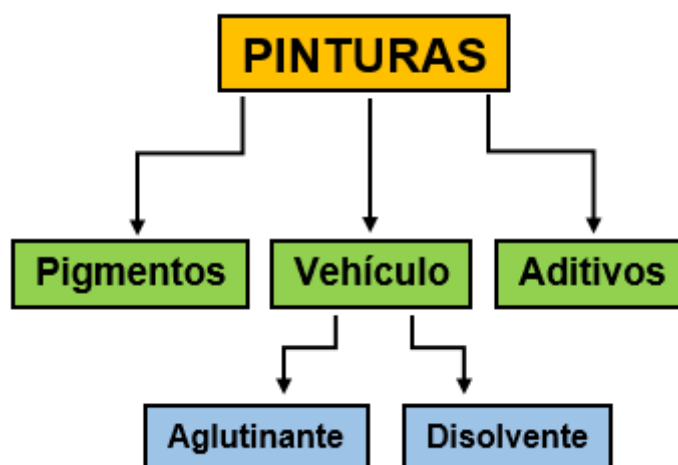


Figura 2: Componentes básicos de las pinturas

4.2.1.1. Pigmentos

Los pigmentos, **Figura 3**, se encuentran normalmente en forma de polvo y son sustancias naturales o artificiales insolubles compuestas por partículas microscópicas que aportan a la pintura color y opacidad.



Figura 3: Pigmentos

Los pigmentos se pueden clasificar atendiendo a su origen natural o artificial, **Figura 4**.

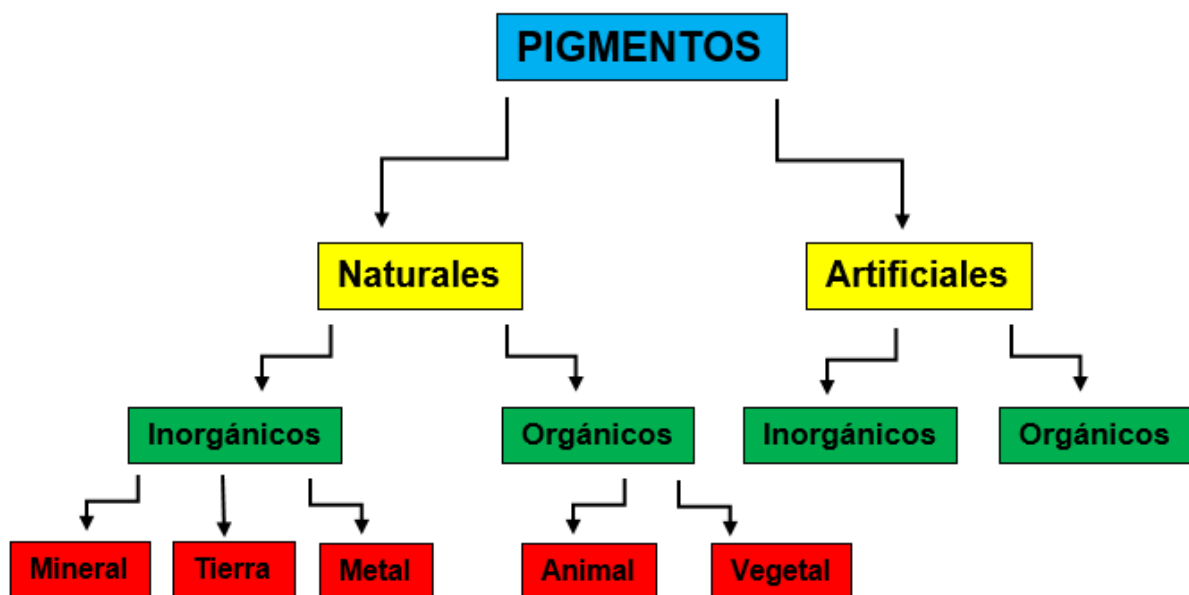


Figura 4: Clasificación de los pigmentos atendiendo a su origen

- Natural.

Cuando se aplica tal cual está en la naturaleza. Tienen una composición variable y según su procedencia pueden contener más o menos impurezas. Para tratar estos pigmentos se requieren operaciones de combustión, purificación, tostación o molido, a diferencia de los pigmentos artificiales, que son el resultado de una reacción química. Se pueden clasificar atendiendo a dos criterios:

- En función de su procedencia inorgánica u orgánica.

- Inorgánicos

Su procedencia puede ser mineral (es decir, se obtienen directamente de los minerales: **azul ultramar**, **azurita**, **oropimente**, cinabrio, **malaquita**, negro marfil, negro de humo, negro óxido de hierro, blanco de titanio, etc.), de tierras (proceden de la oxidación del hierro, la roca feldespática o el mineral de manganeso, como las tierras ocres, tierra de Siena, tierras verdes, sombra tostada, etc.) o de metales (se obtienen al moler metales o sus aleaciones: oro, plata, estaño, bronce, etc.).

Como características principales, se puede destacar que proporcionan una amplia gama de tonos (aunque muchos de ellos no son extremadamente puros), generalmente son estables a la luz y al calor, pueden ser atacados por ácidos y bases y suelen ser bastante resistentes a los disolventes orgánicos.

- Orgánicos

Cuando proceden de animales (amarillo indio (orina de vacas), sepia (tinta de sepia y calamar), carmín (cochinilla), púrpura de Tiro (caracol), insectos de la laca, hueso, etc.) o vegetales (verde de la clorofila (acelga, espinaca), color rojo, púrpura y azul (remolacha) sangre de dragón (fruto de la rota), añil, rojo, rosa, morado y azul (arándanos, moras, cerezas, frambuesas y fresas), amarillo, naranja y marrón (caléndulas, clavel de China, capuchinas, azafrán y la cúrcuma)).

Como características principales, cabe destacar que proporcionan una amplia gama de tonos brillantes, son poco resistentes a la luz, al calor y a los disolventes (al contrario que los pigmentos inorgánicos), el tamaño de partícula es menor que en el caso de los pigmentos inorgánicos y suelen ser más caros que estos.

- En función de su color.

Los pigmentos señalados en negrita en la **Tabla 16** son los que se van a comentar a lo largo del trabajo.

Tabla 16: Pigmentos naturales según su color

Color	Pigmentos naturales
Amarillo	Ocre amarillo, oropimente
Azul	Azurita, azul ultramar , aerinita
Pardo	Betún, pardo de Cassel, siena, sombra
Blanco	Carbonato de calcio
Rojo	Cinabrio, ocre rojo, rojo óxido de hierro, sanguina
Verde	Malaquita , tierra verde
Negro	Carbón, grafito, negro de carbón, negro de hueso, negro de humo, negro de manganeso, negro de marfil, negro óxido de hierro, tierra negra

– Artificial

Cuando son sintetizados. Estos pigmentos se han elaborado desde la Antigüedad a partir de procedimientos artesanales y desde el siglo XIX, a partir de procedimientos industriales.

- Se dividen también en inorgánicos (óxido de cinc, dióxido de titanio, rojo de molibdeno, **violeta de cobalto**, azul de Prusia, óxido de cobalto, **azul de cobalto**, **blanco de plomo**, trióxido de dicromo, **bermellón**, **minio**, etc.) y orgánicos (azul y verde de flalocianina, índigo, etc.).
- Al igual que los naturales, también se pueden clasificar en función de su color, **Tabla 17**. Los pigmentos señalados en negrita son los que se van a comentar a lo largo del trabajo.

Tabla 17: Pigmentos artificiales según su color

Color	Pigmentos artificiales
Amarillo	Amarillo de antimonio, amarillo de bario, amarillo de cadmio, amarillo de cinc, amarillo de cobalto, amarillo de cromo, amarillo de estaño y plomo, purpurina
Azul	Azul cerúleo, azul cobalto , azul de Bremen, azul de manganeso, azul de Prusia, azul egipcio, azul esmalte, azul verditer
Pardo	Bistre
Blanco	Albayalde o blanco de plomo , blanco de bario, blanco de cal, blanco de cinc, blanco de hueso, blanco de titanio, blanco litopón
Rojo	Bermellón, minio , escarlata puro, rojo Marte
Verde	Verde de cobalto, verde de cromo, verde de Schweinfurt, verde verditer, verdigrís
Violeta	Violeta de cobalto

En función de la capacidad de absorción de luz por parte de los pigmentos, se obtendrán unos efectos u otros:

1. Si el pigmento no absorbe luz visible, se produce un efecto blanco.

Los pigmentos blancos más comunes son óxidos, como el dióxido de titanio, el trióxido de diantimonio y el óxido de cinc. También producen el mismo efecto compuestos inorgánicos blancos e insolubles distintos a los óxidos, como el sulfuro de cinc, el blanco de plomo y el sulfato de bario.

2. Si el pigmento absorbe ciertas longitudes de onda de la luz visible, se produce un efecto coloreado.

Como ejemplo se encuentran los óxidos inorgánicos como el trióxido de dihierro, que produce un color amarillo, rojo o tierra; el trióxido de dicromo, que es de color verde; y el minio, que es de color rojo. Los cromatos de estroncio, plomo (II), cinc y níquel (II) producen distintas gamas de amarillo y anaranjado.

Con el tiempo se han sustituido algunos de estos compuestos por otros de carácter orgánico que minimizan las características tóxicas de algunos de los anteriormente citados o bien facilitan la aplicación de los mismos.

Las propiedades que debe tener un pigmento para ser utilizado en la pintura son:

1. Debe ser un polvo fino y suave.
2. Insoluble en el medio en el que se usa.
3. Ha de resistir la luz del sol sin cambiar de color.
4. Debe ser químicamente inerte y no alterarse al mezclarse con los otros componentes ni al exponerse a la atmósfera.

Los conceptos de pigmento y colorante muchas veces se confunden:

- Los colorantes son sustancias que al aplicarlas sobre un sustrato (fibra textil, papel, polímero, alimento, etc.) le confieren un color con la condición de que dicho sustrato debe tener cierta afinidad química por el colorante para retenerlo.
- A diferencia de los colorantes, a los pigmentos se les debe añadir obligatoriamente un aglutinante para que se adhieran al sustrato.

4.2.1.2. Vehículo

El vehículo es un líquido incoloro que forma una suspensión cuando se le añade el pigmento en polvo. Está formado por dos tipos de componentes: los aglutinantes y los disolventes. Esto significa que, en definitiva, las pinturas son suspensiones de sólidos en líquidos, es decir, son mezclas de dos o más sustancias insolubles (el pigmento es insoluble en el aglutinante y en el disolvente) y por tanto, unas quedan suspendidas en otras.

Vamos a detallar cada uno de ellos.

– Aglutinantes:

También llamados ligantes o resinas, son compuestos que, una vez secos, son los encargados de unir las partículas microscópicas del pigmento para que se formen capas sólidas, delgadas y continuas de pintura (películas) adheridas a la superficie pintada. En definitiva, forman una especie de matriz que contiene a los pigmentos y tienen como finalidad fijar la pintura a un soporte, proporcionando a dicha pintura cuerpo, dureza, durabilidad y fluidez. Son el denominado vehículo fijo.

Como ejemplos de aglutinantes se pueden destacar el látex, las resinas alquídicas, vinílicas, acrílicas, nitrocelulósicas, epoxi y fenólicas, el caucho y la silicona. A lo largo de la historia se han utilizado resinas naturales y sintéticas, pero actualmente son las segundas las que más se emplean.

– Disolventes:

Son líquidos volátiles que se utilizan para disolver el aglutinante, si este es sólido, o para fluidificarlo en caso de que sea líquido. De esta manera se reduce la viscosidad, favoreciendo una mejor aplicación de la pintura. Proporcionan consistencia a la pintura, pero al ser volátiles, se evaporan durante el proceso de secado. Son los denominados vehículos volátiles.

Cada tipo de pintura tiene su propio disolvente característico, ya que la utilización de un disolvente inapropiado puede hacer que la pintura pierda sus propiedades. Los disolventes más empleados son agua, alcohol, aguarrás, acetona y benceno.

Los disolventes orgánicos se utilizan generalmente cuando las sustancias, en condiciones normales de temperatura, no se disuelven en agua, aunque la utilización de agua como disolvente actualmente es más común debido a los efectos perjudiciales de los compuestos orgánicos.

4.2.1.3. *Aditivos*

Los aditivos se añaden para mejorar alguna de las propiedades de la pintura, pero no son componentes imprescindibles.

Se clasifican principalmente en cuatro grupos: secantes (aceleran el secado de la pintura), fungicidas-bactericidas (previenen la formación de hongos y/o algas), plastificantes (promueven la flexibilidad) y antioxidantes (previenen la oxidación de los).

La proporción y tipo de pigmentos, aglutinantes y disolventes en las pinturas condiciona sus características. Por lo que en función de la superficie en la que se vaya a aplicar la pintura, habrá que elegir unas proporciones u otras.

4.3. *Los pigmentos a lo largo de la historia [2]*

Los pigmentos han sido utilizados durante toda la historia de la humanidad y consecuentemente están asociados a las manifestaciones artísticas de las distintas civilizaciones.

Muchos de ellos, además de ser muy atractivos a la vista, tenían una elaboración complicada, por lo que su posesión era símbolo de poder, de una buena situación económica y de un buen estatus social. Por tanto, para que el resto de la población pudiera adquirirlos, los alquimistas y posteriormente los químicos investigaron para obtener pigmentos artificiales lo más similares posible a los naturales y para aumentar la gama de colores.

A continuación se van a comentar los pigmentos sintéticos más importantes utilizados en el arte de la pintura desde el Paleolítico hasta el siglo XVII.

1. Paleolítico (2,5 millones de años a.C.-10000 a.C.)

En este período aparecieron las primeras manifestaciones artísticas. Los pigmentos utilizados eran naturales, en general inorgánicos y procedentes de yacimientos, como el ocre amarillo, ocre rojo, calcita y negro carbón.

El tratamiento que se les daba consistía simplemente en someterlos a un proceso de lavado y molienda.

2. Neolítico (10000 a.C.-4000 a.C.)

No es hasta el Neolítico cuando aparecieron las primeras transformaciones artificiales de materia derivadas del uso del fuego, como por ejemplo, la obtención de aleaciones o la modificación de los pigmentos al unirlos con grasas de origen animal para crear imágenes como las que se pueden observar en las cuevas de Altamira (**Ilustración 1**).



Ilustración 1: Bisonte de las cuevas de Altamira

3. Antigüedad clásica: civilización mesopotámica (4000 a.C.-538 a.C.), egipcia (3150 a.C.-31 d.C.), griega (1200 a.C.-146 a.C.) y romana (753 a.C.-476 d.C.)

- Civilización mesopotámica y egipcia.

Estas civilizaciones fueron capaces de extraer sustancias de plantas, moluscos e insectos que se utilizarían como tintes. La civilización egipcia en el año 3100 a.C. obtuvo el pigmento azul egipcio, que es uno de los pigmentos sintéticos más antiguos y cuyo uso se extiende hasta la época romana. El bronce se usaba como fuente de cobre; el cuarzo, como fuente de sílice y la calcita, como fuente de calcio. Una variante de este pigmento es el verde egipcio, que contiene una menor proporción de cobre.

No obstante, uno de los compuestos que más caracteriza a esta civilización es el lapislázuli, normalmente no utilizado como pigmento sino para la fabricación de piezas de adorno, que es el caso de los encontrados en la tumba de Tutankamón.

- Civilización mesopotámica, egipcia, griega y romana.

Como pigmentos minerales destacan la **azurita**, la **malaquita**, el cinabrio, el **oropimente**, el rejalgar, la caliza, el yeso, el ocre rojo, el ocre amarillo y las tierras de color amarillo, rojo o verde.

Como pigmentos artificiales se pueden destacar óxidos de plomo como el litargirio y el **minio**, obtenidos al someter el blanco de plomo a calentamiento.

Además, en estas civilizaciones se utilizó el ácido acético contenido en el vinagre para obtener los pigmentos **blanco de plomo** y verdigrís (que es un acetato de cobre (II)). El uso de estos dos pigmentos se ha mantenido hasta el siglo XIX.

4. Edad Media (500 d.C.-1500 d.C.)

Durante la Alta Edad Media (500 d.C.-1000 d.C.) se emplearon prácticamente los mismos pigmentos que en las épocas anteriores, exceptuando el bermellón.

Durante la Baja Edad Media (1000 d.C.-1500 d.C.) aparece un mayor número de textos sobre la preparación, propiedades y aplicaciones de materiales artísticos.

El mejor pigmento rojo de la Edad Media fue el **bermellón**. Es de origen sintético y similar tanto en composición como en propiedades al cinabrio (muy utilizado en la Antigüedad Clásica, como se ha mencionado). Al principio se utilizaba poco en el ámbito artístico debido a su alto coste, pero a principios del siglo XV su uso se hizo muy habitual, intensificándose en el Renacimiento (1500 d.C.-1600 d.C.).

El verdigrís, también empleado en la Antigüedad Clásica, adquiere en esta etapa una gran importancia como pigmento. En España se conocía como cardenillo.

A principios del siglo XIV empieza a utilizarse el amarillo de plomo y estaño, siendo su período de mayor utilización el comprendido entre los siglos XV y XVIII.

Durante toda la Edad Media el azul más valorado como pigmento fue el lapislázuli o **azul ultramar** natural. Como se ha comentado anteriormente, ya fue empleado por los egipcios, pero fue en esta época cuando se consiguió separar la lazurita, que es el mineral responsable de su color azul debido posiblemente a la presencia de cantidades no estequiométricas de azufre [3-6]. Debido a la complejidad de su purificación era bastante costoso.

5. Siglos XV-XVII

Está época destaca por la enorme cantidad de textos relacionados con la pintura y los materiales artísticos; en ellos se recoge la aparición de nuevos pigmentos asociados a la tecnología del vidrio, como el azul esmalte o esmaltín.

Hasta el siglo XVI solo se conocían como pigmentos inorgánicos amarillos las tierras y ocre amarillos y el amarillo de plomo y estaño. En este siglo se sintetiza el amarillo de Nápoles, que posteriormente sería muy empleado en los siglos XVIII y XIX.

Los avances de la alquimia del siglo XVII, las grandes exploraciones marítimas y el descubrimiento de América aumentaron la variedad de pigmentos.

En el siglo XVII aparecieron los pigmentos sintéticos azul verditer, que es la versión sintética de la azurita, y el verde verditer, que es la versión sintética de la malaquita. El primero se consideró el sustituto económico del lapisázuli y la azurita y su uso se extiende hasta el siglo XVIII. El verde verditer se ha empleado en la pintura sobre tabla del siglo XV, aunque fue menos utilizado que el anterior y en la actualidad ya no se usa.

5. PIGMENTOS AZULES

Algunos ejemplos de pigmentos azules son: azurita, azul cobalto, azul ultramar (los tres se detallarán a continuación), azul de manganeso, azul de Prusia, azul de ftalocianina, aerinita, azul esmalte, índigo, azul egipcio, azul cerúleo, azul maya, azul de Bremen, azul verditer y huntita, entre otros.

5.1. Azurita

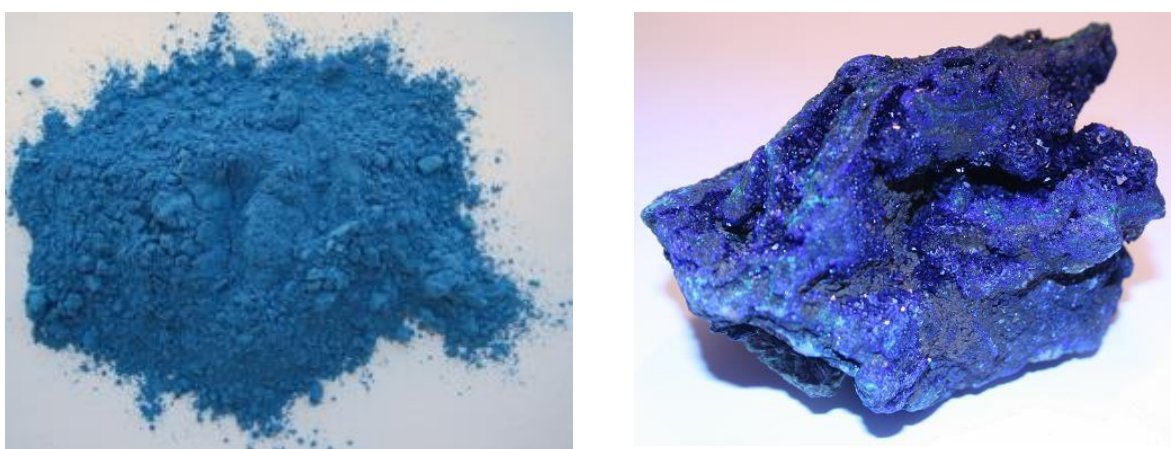


Figura 5: Pigmento azurita en polvo y mineral de azurita

La azurita, también llamada malaquita azul, chesilita o azul de Alemania, es un pigmento mineral natural inorgánico. Su fórmula es $Cu(OH)_2 \cdot 2CuCO_3$ y su nombre sistemático, dihidróxido de cobre—carbonato de cobre (II) (1/2). Se encuentra en los yacimientos de cobre.

Su uso destaca en las civilizaciones mesopotámica, egipcia, griega y romana. Fue el pigmento azul más utilizado en la pintura europea de la Edad Media, el Renacimiento y la primera mitad del siglo XVII. En el siglo XVIII su uso disminuyó porque los yacimientos en Hungría quedaron inutilizados por la invasión turca y también porque se sustituyó por el pigmento azul de Prusia debido a su menor coste. Aun así, se utilizó y aún se sigue utilizando mucho en el Este Asiático y en Japón.

En la Tabla Hispano-flamenca del siglo XV se empleó el pigmento azurita, **Ilustración 2**.



Ilustración 2: Tabla Hispano-flamenca. Siglo XV

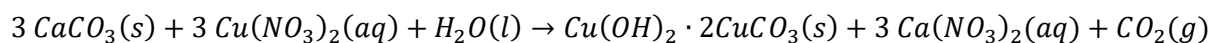
La única diferencia entre la malaquita y la azurita es que esta última contiene una unidad más de carbonato de cobre (II) y que su estructura cristalina es más estable, por lo que debido al envejecimiento y a las condiciones ambientales, la azurita tiende a pasar a malaquita.

5.1.1. Elaboración química

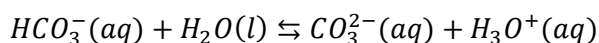
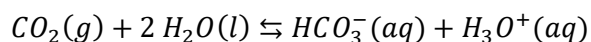
Las referencias a su síntesis se remontan al siglo XVII, denominándose a esta versión sintética del pigmento azul verditer [7].

Se introduce en un tubo ancho de vidrio grueso una disolución de nitrato de cobre (II) ($Cu(NO_3)_2$) con pedacitos de carbonato de calcio ($CaCO_3$) en exceso. Este tubo se encuentra unido a un manómetro. A continuación el tubo se cierra al soplete y se calienta. La azurita se forma a temperatura ambiente cuando el dióxido de carbono (CO_2) liberado durante la reacción alcanza una presión de 5 a 8 atmósferas. El producto, de fórmula $Cu(OH)_2 \cdot 2CuCO_3$, se filtra, lava y seca a temperatura ambiente. El tubo ha de ser de vidrio grueso y debe estar cerrado al soplete debido a las altas presiones que hay que alcanzar durante la reacción [8]

La reacción que tiene lugar es:



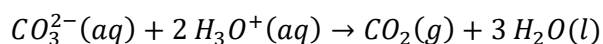
Alcanzar las presiones de CO_2 mencionadas tiene un objetivo: obtener en el pigmento una proporción $CuCO_3:Cu(OH)_2$ 2:1. A esas presiones, el CO_2 que está sobre la disolución se redisuelve a través de la siguiente reacción debido al principio de Le Châtelier:



De este modo, la concentración de ion carbonato (CO_3^{2-}) en disolución se incrementa, lo que permite que precipite más cantidad de carbonato de cobre (II) ($CuCO_3$) y que su proporción en el pigmento también aumente. Si no se alcanzaran presiones tan elevadas (es decir, si no se disolviera el CO_2 desprendido), la proporción $CuCO_3:Cu(OH)_2$ sería 1:1, lo que corresponde a la malaquita (pigmento explicado en el apartado 6.1.).

5.1.2. Propiedades físico-químicas e identificación química rápida

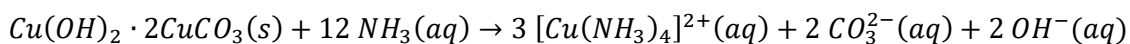
- Al ser un carbonato, este pigmento tiene carácter básico, así que se descompone rápidamente por reacción con ácidos, produciendo efervescencia por la formación de (CO_2).



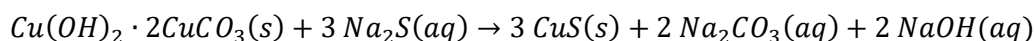
- Al calentar el pigmento se vuelve negro debido a la formación de óxido de cobre (CuO).



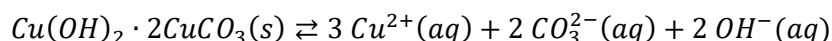
- El amoníaco (NH_3) reacciona con el pigmento formando el complejo tetraamminocobre (II) ($[Cu(NH_3)_4]^{2+}$), de color azul oscuro.



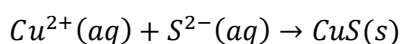
- Tiene tendencia a pasar a malaquita, porque es su forma cristalina más estable.
- Con disoluciones de sulfuro de sodio (Na_2S) aparece un sólido negro, que es sulfuro de cobre (CuS).



Cuando el pigmento entra en contacto con la disolución acuosa, se establece un equilibrio de solubilidad:

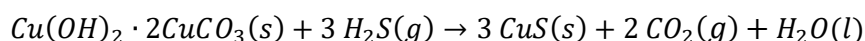


En presencia de iones sulfuro (S^{2-}), procedentes del Na_2S , el cobre (II) (Cu^{2+}) precipita en forma de CuS .



Esta reacción tiene una constante de equilibrio muy grande, así que todo el Cu^{2+} que aparece al disolverse el pigmento desaparece por precipitación. Esto hace que el equilibrio de solubilidad del pigmento se desplace hacia los productos (siguiendo el principio de Le Chatelier). Este proceso ocurre hasta que todo el pigmento se ha disuelto y posteriormente reaccionado.

Igualmente, los vapores de sulfuro de hidrógeno (H_2S) también ennegrecen el pigmento por el mismo motivo.



Y por tanto, por extrapolación, este pigmento es incompatible con cualquier otro pigmento sulfurado.

- Es tóxico.

5.1.3. Aspecto microscópico

A través del microscopio óptico se observa que el pigmento es transparente y que sus partículas presentan una geometría irregular.

5.2. Azul cobalto



Figura 6: Pigmento azul cobalto

El azul cobalto, también denominado azul esmalte, es un pigmento artificial inorgánico. Su fórmula es $Al_2O_3 \cdot CoO$ y su nombre sistemático, trióxido de dialuminio—óxido de cobalto (II) (1/1). Se sintetizó en 1802 y es un pigmento caro.

En el siguiente cuadro de Jackson Pollock se usó el pigmento azul cobalto, **Ilustración 3**.

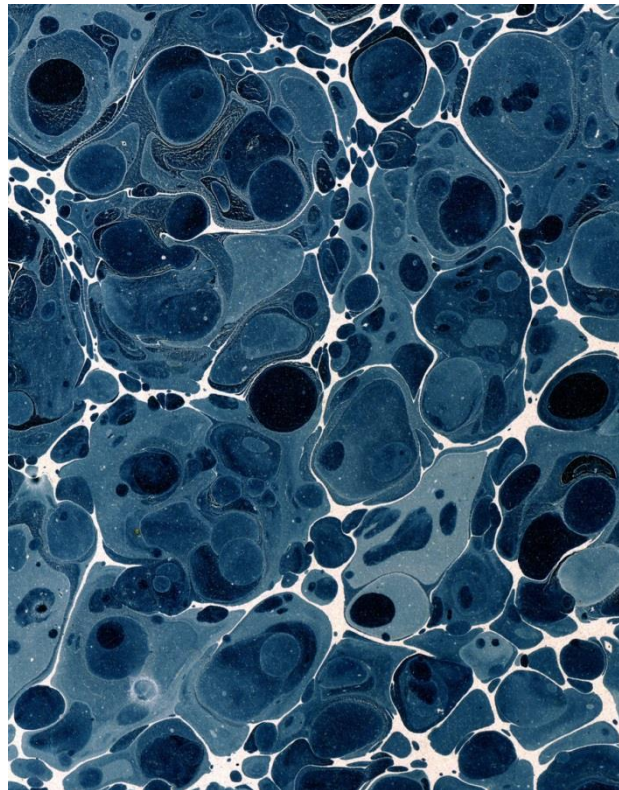
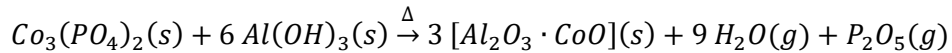


Ilustración 3: Pintura de Jackson Pollock

5.2.1. Elaboración química

Se parte de violeta de cobalto y de trihidróxido de aluminio ($Al(OH)_3$), que se mezclan en cantidades estequiométricas. Los reactivos se calientan en un horno a 600-700 °C hasta que aparezca el color azul característico del pigmento $Al_2O_3 \cdot CoO$. Posteriormente se muele el producto obtenido. [8]

La reacción que tiene lugar es:



El agua (H_2O) y el pentaóxido de difósforo (P_2O_5) se desprenden en forma gaseosa a la temperatura de trabajo.

5.2.2. Propiedades físico-químicas e identificación química rápida

- No se ve alterado a altas temperaturas porque es de naturaleza cerámica (al ser un óxido covalente no molecular).
- No es tóxico.

5.2.3. Aspecto microscópico

A través del microscopio óptico se observa que el pigmento es muy transparente y que sus partículas presentan una geometría redondeada.

5.3. Azul ultramar

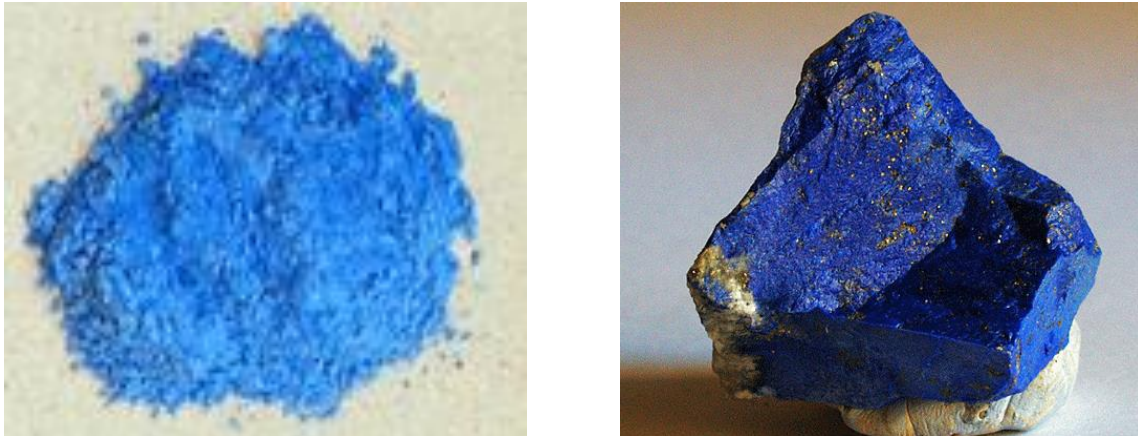


Figura 7: Pigmento azul ultramar en polvo y mineral Lapislázuli

El azul ultramar, es un pigmento natural mineral inorgánico. Su fórmula es $2Na_2S \cdot 3Al_2O_3 \cdot 3Na_2O \cdot 6SiO_2$ y su nombre sistemático, sulfuro de sodio—trióxido de dialuminio—óxido de sodio—dióxido de silicio (2/3/3/6). Se sintetizó en 1824.

Este pigmento procede del mineral Lapislázuli, que está formado por una gran cantidad de minerales (lazurita, diópsido, edenita, mica, calcita, pirita, sodalita, forsterita y wollastonita), siendo la lazurita la responsable de su color azul. Este mineral provenía de las minas de Badakshan, en Afganistán.

En el cuadro “La Lechera” de 1660 de Jan Vermeer se puede observar el pigmento azul ultramar, **Ilustración 4**.



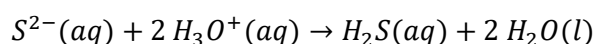
Ilustración 4: “La Lechera”. 1660

5.3.1. Elaboración química

El proceso de elaboración empleado en la Edad Media es bastante laborioso y el proceso industrial [6] resulta bastante complicado de describir, por lo que no se va explicar en este trabajo.

5.3.2. Propiedades físico-químicas e identificación química rápida

- Al ser un pigmento formado por óxidos y sulfuros, presenta carácter básico, así que se decolora por reacción con ácidos, formándose ácido sulfhídrico (H_2S , olor a huevos podridos).



- No se altera bajo la acción de bases.
- Es estable a temperatura elevadas debido a su carácter cerámico (porque contiene trihidróxido de dialuminio (Al_2O_3) y dióxido de silicio (SiO_2)).
- En principio, es compatible con los pigmentos de plomo (II) (Pb^{2+}), cobre (Cu), cobalto (Co), mercurio (Hg) y plata (Ag).
- Es tóxico.

5.3.3. Aspecto microscópico

A través del microscopio óptico se observa que el pigmento es transparente y que sus partículas presentan una geometría irregular.

6. PIGMENTOS VERDES

Algunos ejemplos de pigmentos verdes son: malaquita (que se detallará a continuación), verde óxido de cromo, verde de Scheweinfurt, verde de cobalto, verde de Scheele, verde verditer, verde Viridiana, verde de ftalocianina, verdigrís, verde Rinman y las tierras verdes, entre otros.

6.1. Malaquita



Figura 8: Pigmento malaquita en polvo y mineral malaquita

La malaquita, también llamada verde de montaña, es un pigmento natural mineral inorgánico. Su fórmula es $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ y su nombre sistemático, carbonato de cobre (II)—dihidróxido de cobre (1/1).

Como se ha comentado, la malaquita es la forma cristalina estable a la que tiende a pasar la azurita.

Fue muy empleada en las civilizaciones mesopotámica, egipcia, griega y romana. En el siglo XVII aparece el verde verditer, que es su versión sintética.

En el cuadro “El matrimonio Arnolfini” de 1434 de Jan van Eyck aparece el pigmento malaquita, **Ilustración 5**.

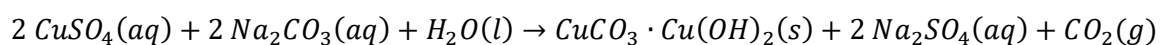
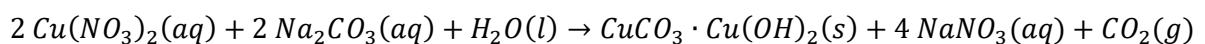


Ilustración 5: "El matrimonio Arnolfini". 1434

6.1.1. Elaboración química

Sobre una disolución de cobre (II) (Cu^{2+}) se añade disolución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) en exceso, apareciendo un precipitado azul-verdoso. Se deja el precipitado en reposo con las aguas madre durante 24 ó 48 horas. Se filtra, lava y seca a temperatura ambiente. El producto obtenido, de color azul verdoso, tiene la siguiente fórmula: $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$. La disolución de Cu^{2+} se prepara disolviendo nitrato de cobre (II) ($Cu(NO_3)_2$) o sulfato de cobre (II) ($CuSO_4$) [8].

La reacción que tiene lugar es:



6.1.2. Propiedades físico-químicas e identificación química rápida

- Tiene el mismo comportamiento que la azurita, salvo que no tiene tendencia a transformarse en azurita porque la malaquita es la forma estable.
- Es tóxico.

6.1.3. Aspecto microscópico

A través del microscopio óptico se observa que el pigmento es transparente y que sus partículas presentan una geometría irregular.

7. PIGMENTOS AMARILLOS

Algunos ejemplos de pigmentos amarillos son: oropimente (que se detallará a continuación), aureolita, amarillo de cadmio, amarillo de antimonio, amarillo de bario, amarillo de cobalto, amarillo de cromo, oro musivo, amarillo de estaño-plomo, amarillo de Nápoles, amarillo de cinc, masicote, purpurina, ocre amarillo y amarillo de titanio, entre otros.

7.1. Oropimente



Figura 9: Pigmento oropimente en polvo y mineral oropimente

El oropimente, también llamado arsénico amarillo, es un pigmento natural mineral inorgánico. Su fórmula es As_2S_3 y su nombre sistemático, trisulfuro de arsénico. Al ser un compuesto de arsénico, es muy venenoso.

Destaca como pigmento en las civilizaciones mesopotámica, egipcia, griega y romana. Se usó también en la Edad Media para obtener pigmentos verdes al mezclarlo con otros pigmentos azules, como el índigo.

En el cuadro “La Madonna Sixtina” de 1483 de Raffaello Sanzio se muestra el pigmento oropimente, **Ilustración 6**.



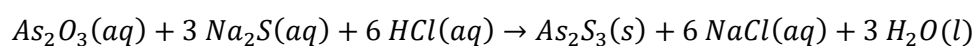
Ilustración 6: "La Madonna Sixtina". 1520

7.1.1. Elaboración química

Conviene llevar a cabo la reacción en campana extractora.

En un vaso de precipitados se introducen trióxido de diarsénico (As_2O_3), sulfuro de sodio (Na_2S) y carbonato de sodio (Na_2CO_3) con la suficiente cantidad de agua para que se disuelva todo. Se debe calentar para facilitar la disolución. A continuación, se añade con agitación una disolución de ácido clorhídrico (HCl) al 10%, precipitando de inmediato el pigmento, de fórmula As_2S_3 y de color amarillo. En función de la cantidad de Na_2S que se añada, se puede desprender de sulfuro de hidrógeno (H_2S). El precipitado se filtra, lava y seca [8].

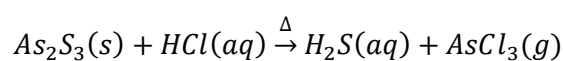
La reacción que tiene lugar es:



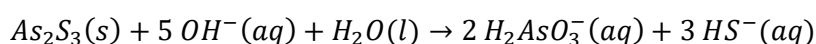
El Na_2CO_3 se añade para que el medio sea lo suficientemente básico, de modo que el Na_2S será estable y la concentración de azufre (S) se mantiene en su totalidad como ion sulfuro (S^{2-}). Al añadir el HCl , se libera H_2S de forma homogénea, permitiendo la reacción cuantitativa con el arsénico (III) (As^{III}).

7.1.2. Propiedades físico-químicas e identificación química rápida

- Este pigmento descompone en presencia de HCl muy concentrado y muy caliente, formándose H_2S y tricloruro de arsénico ($AsCl_3$), que es volátil.



- En medio básico el precipitado se redisuelve dando lugar al ion dihidrogenoarsenito ($H_2AsO_3^-$).



- Si se calienta fuertemente, sublima.
- Es incompatible con pigmentos de plomo (II) (Pb^{2+}), cobre (Cu), mercurio (Hg), cobalto (Co) y plata (Ag) debido a reacciones de competencia entre el As^{III} y los metales mencionados.

7.1.3. Aspecto microscópico

A través del microscopio óptico se observa que el pigmento es semiopaco y que sus partículas son pequeñas y presentan una geometría irregular.

8. PIGMENTOS ROJOS

Algunos ejemplos de pigmentos rojos son: minio, bermellón (ambos se detallarán a continuación), rojo de cinc, rojo de cadmio, rojo Marte, rojo de cromo, rojo de antimonio, kermesita, rojo escarlata, rojo óxido de cobre, laca de cochinilla, ocre rojo, sanguina, cinabrio, laca carmín y los rojos óxidos de cobre, entre otros.

8.1. Minio



Figura 10: Pigmento minio en polvo

El minio, también llamado rojo Saturno, es un pigmento artificial inorgánico. Su fórmula es Pb_3O_4 y su nombre sistemático, tetraóxido de triplomo. Realmente la fórmula detallada es $Pb_2^{II}Pb^{IV}O_4$, es decir, es un óxido mixto de plomo (II) y plomo (IV).

Destaca como pigmento en las civilizaciones mesopotámica, egipcia, griega y romana. También fue muy utilizado en la Edad Media y a partir del Renacimiento se utiliza en la pintura de caballete.

En la miniatura “San Bernardo de Caraval” del siglo XIII, anónima, se puede encontrar el pigmento minio, **Ilustración 7**.

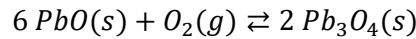


Ilustración 7: “San Bernardo de Caraval”. Siglo XIII

8.1.1. Elaboración química

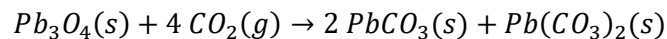
La síntesis de este pigmento es sencilla. Simplemente hay que calentar litargirio (óxido de plomo, PbO), que es de color amarillo, a una temperatura de 550 °C. La dificultad es que si se sobrepasa dicha temperatura, la reacción revierte, regenerándose el PbO [8].

La reacción es:



8.1.2. Propiedades físico-químicas e identificación química rápida

- Las bases no le afectan porque el pigmento tiene carácter básico.
- Con el paso del tiempo y la exposición al aire libre empalidece porque se forman carbonato de plomo (II) ($PbCO_3$) y carbonato de plomo (IV) ($Pb(CO_3)_2$), que son blancos.



- Es incompatible con pigmentos sulfurados debido a la formación de sulfuro de plomo (PbS).
- Es tóxico.

8.1.3. Aspecto microscópico

A través del microscopio óptico se observa que el pigmento es opaco-semiopaco y que sus partículas presentan una geometría redondeada.

8.2. *Bermellón*



Figura 11: Pigmento bermellón en polvo

El bermellón es un pigmento artificial inorgánico. Su fórmula es HgS y su nombre sistemático, sulfuro de mercurio. Se extrae del cinabrio, que es el mineral de mercurio (Hg).

Fue un pigmento muy conocido en la época romana y muy empleado en la Antigua China. Fue el mejor pigmento rojo de la Edad Media. A principios del siglo XV su uso se hizo muy habitual, intensificándose en el Renacimiento. Los yacimientos de Almadén, en Ciudad Real, son los más importantes del mundo.

Aparte de la variedad roja, también existe la variedad negra.

En el cuadro “Asunción de la Virgen” de 1518 de Tiziano Vezellio se muestra el pigmento bermellón, **Ilustración 8**.



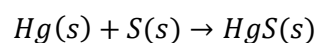
Ilustración 8: "Asunción de la Virgen". 1518

8.2.1. Elaboración química

Hay dos procedimientos de obtención [8]:

- Por vía seca.

Fue el empleado antes de y durante toda la Edad Media. Se basa en mezclar dos partes de azufre (S) y una de Hg (en masa) e introducir las en una redoma que se cierra con barro para posteriormente calentarla. El pigmento que se obtiene es de color negro que, al ser sometido a molienda, vira a rojo.



El problema es que era un procedimiento muy peligroso debido al desprendimiento de vapores de mercurio, ya que su inhalación es muy peligrosa.

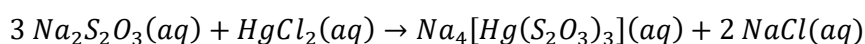
– Por vía húmeda.

Es un procedimiento más cómodo y seguro que se introdujo en el siglo XVII. Al igual que en el procedimiento por vía seca, también se parte de *S* y *Hg*.

Hay que preparar dos disoluciones.

- Una disolución muy concentrada de tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$).
- Una disolución de dicloruro de mercurio ($HgCl_2$). A diferencia del $Na_2S_2O_3$, el $HgCl_2$ es poco soluble a temperatura ambiente, por lo que hay que calentar la disolución con agitación constante para que se disuelva todo.

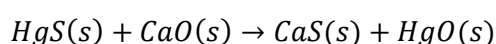
Una vez disuelto todo el $HgCl_2$, se añade la disolución de $Na_2S_2O_3$ manteniendo la agitación. La disolución resultante debe quedar transparente, lo que significa que se ha formado un complejo soluble entre el mercurio (II) (Hg^{2+}) y el ion tiosulfato ($S_2O_3^{2-}$), que es el ion tritiosulfatomercurato (II) ($[Hg(S_2O_3)_3]^{4-}$).



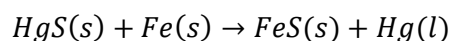
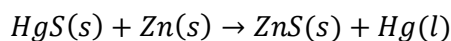
Esta disolución transparente se lleva a ebullición hasta que se forme un precipitado que vire hacia un color rojo “sucio”. En este momento se deja de calentar. Cuando el precipitado sedimenta, se decanta para eliminar el líquido sobrenadante (que todavía puede contener algo de Hg^{2+} disuelto). Al precipitado rojizo se le añade una disolución de disulfuro de sodio (Na_2S) y se lleva a ebullición hasta que se forme un color rojo intenso. En función de la concentración de Na_2S que se añade se obtendrá un tono de rojo u otro (si la concentración es alta, se obtiene un color rojo brillante, ligeramente anaranjado o si la disolución es más diluida, tardará más tiempo en desarrollarse un color rojo más acarminado).

8.2.2. Propiedades físico-químicas e identificación química rápida

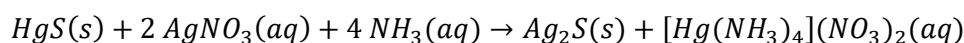
- Es bastante inerte; de hecho, a pesar de tener carácter básico por contener iones sulfuro (S^{2-}), no reacciona con ácidos.
- No se ve afectado por la acción de bases, aunque la cal (CaO) puede propiciar un cambio de color hacia tonos marrones por la formación de óxido de mercurio (II) (HgO), que es amarillo-anaranjado.



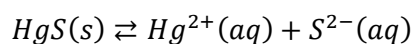
- Sublima al calentarlo en un tubo de ensayo y se deposita en su variedad cristalina negra en las partes fría del tubo.
- Si se calienta con cinc (Zn) en polvo o limaduras de hierro (Fe), se reduce a Hg , que se condensa en las partes frías del tubo en forma de finas gotitas.



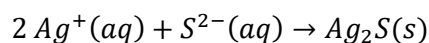
- Con una disolución de nitrato de plata ($AgNO_3$) y un poco de amoníaco (NH_3) se vuelve negro.



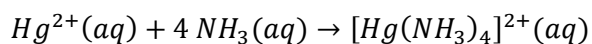
Cuando el pigmento entra en contacto con la disolución acuosa, se establece un equilibrio de muy bajo producto de solubilidad:



En presencia de iones plata (I) (Ag^+), se puede alterar el equilibrio anterior por formación de un precipitado de color negro, que es sulfuro de diplata (Ag_2S).



Existe otro proceso que colabora en la disolución y posterior reacción del pigmento: la formación del ion tetraamminomercurio (II) ($[Hg(NH_3)_4]^{2+}$), que también tiene una constante de equilibrio muy grande:



8.2.3. Aspecto microscópico

A través del microscopio óptico se observa que el pigmento es muy opaco y que sus partículas son muy pequeñas y presentan una geometría redondeada.

9. PIGMENTOS VIOLETAS

Hay muchos menos ejemplos de pigmentos violetas comparados con el resto de pigmentos. Como ejemplos se destacan el violeta de cobalto (que se detallará a continuación) y el violeta de manganeso.

9.1. *Violeta de cobalto*



Figura 12: Pigmento violeta de cobalto en polvo

El violeta de cobalto es un pigmento artificial inorgánico. Su fórmula es $Co_3(PO_4)_2$ y su nombre sistemático, fosfato de cobalto (II).

Se sintetizó en 1859. El problema es que el cobalto (Co) es caro debido a que es bastante escaso en la corteza terrestre. Pero como punto a favor, es un pigmento bastante estable.

En el cuadro “La Muerte del Maestro” de 1884 de José Villegas Cordero se empleó el pigmento violeta de cobalto, **Ilustración 9**.

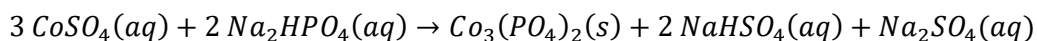


Ilustración 9: "La muerte del Maestro": 1884

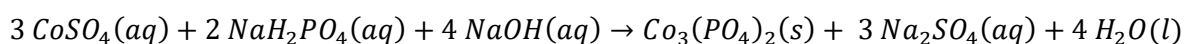
9.1.1. Elaboración química

Hay dos vías de síntesis [8]:

- a) A una disolución de sulfato de cobalto (II) ($CoSO_4$) se le añade otra disolución de hidrogenofosfato de sodio (Na_2HPO_4) en exceso hasta que precipite el pigmento. La reacción que tiene lugar es la siguiente:



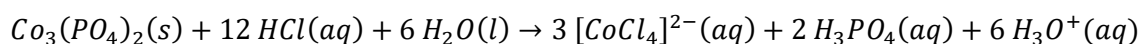
- b) A una disolución de $CoSO_4$ se le añade otra disolución de dihidrogenofosfato de sodio (NaH_2PO_4) en exceso. A continuación, se añade con agitación una disolución de hidróxido de sodio ($NaOH$) al 10%. El exceso de $NaOH$ se debe añadir para garantizar la presencia de iones hidrogenofosfato (HPO_4^{2-}) en el medio, debido a que la precipitación del pigmento es menos favorable termodinámicamente cuanto más protonado está el ion fosfato (PO_4^{3-}).



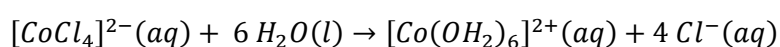
Se filtra el precipitado (mejor en caliente), se lava con agua caliente y se seca al aire, obteniendo un pigmento azul violáceo claro ($Co_3(PO_4)_2$). Si se calienta el pigmento a distintas temperaturas, adquirirá diferentes coloraciones, todas en torno al color violeta, debido a la pérdida de las aguas de cristalización. Si la temperatura supera los 600 °C, se obtiene un pigmento deshidratado de color violeta rojizo oscuro, que será la variedad de violeta de cobalto más estable.

9.1.2. Propiedades físico-químicas e identificación química rápida

- Al mezclarlo con ácido clorhídrico (HCl) concentrado, aparece el ion tetraclorurocobaltato (II) ($[CoCl_4]^{2-}$), de color azul fuerte. El pigmento se descompone debido a dos motivos: las condiciones tan ácidas protonan el ion fosfato PO_4^{3-} y los iones cobalto (II) (Co^{2+}) se complejan.

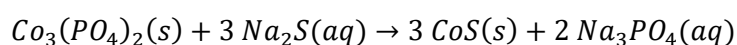


Al diluir esta disolución el color azul fuerte vira a rosa pálido por la formación del ion hexaacuacobalto (II).



Si se hace reaccionar con otros ácidos el pigmento también se descompone por reacción entre PO_4^{3-} y los iones oxonio (H_3O^+).

- En presencia de sulfuro de sodio (Na_2S) aparece un precipitado negro, que es sulfuro de cobalto (CoS).



Por este motivo, este pigmento tampoco es compatible con otros pigmentos sulfurados.

- Altamente tóxico.

9.1.3. Aspecto microscópico

A través del microscopio óptico se observa que el pigmento es muy transparente y que sus partículas presentan una geometría en forma de paralelepípedos y cubos.

10. PIGMENTOS BLANCOS

Algunos ejemplos de pigmentos blancos son: blanco de plomo (que se detallará a continuación), sulfato de plomo (II), litopón, blanco de cinc, blanco de titanio, blanco de hueso, blanco de cal, blanco de bario, carbonato de calcio y blanco de antimonio, entre otros.

10.1. Blanco de plomo



Figura 13: Pigmento blanco de plomo en polvo

El blanco de plomo, también llamado albayalde, es un pigmento artificial inorgánico. Su fórmula es $PbCO_3$ y su nombre sistemático, carbonato de plomo (II).

En pintura se usan mezclas de la variedad cristalina cerusita ($PbCO_3$) y la variedad hidrocerusita ($PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$).

Es el primer pigmento inorgánico totalmente sintético. Fue utilizado en las civilizaciones mesopotámica, egipcia, griega y romana y fue el blanco más usado hasta el siglo XIX. Posteriormente y dado su carácter tóxico, fue sustituido por el blanco cinc.

Técnicamente es el mejor pigmento blanco para la pintura al óleo porque tiende a reaccionar con aceite para formar jabones de plomo que con el tiempo flexibilizan la película de pintura.

En el cuadro “Catedral de Rouen-Puerta en el sol” de 1884 de Claude Monet Cordero se muestra el pigmento blanco de plomo, **Ilustración 10**.

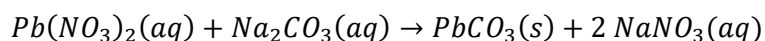


Ilustración 10: "Catedral de Rouen-Puerta en el sol". 1894

10.1.1. Elaboración química

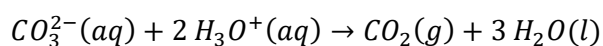
Por precipitación, añadiendo una disolución caliente de nitrato de plomo (II) ($Pb(NO_3)_2$) sobre otra disolución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) en exceso. El pigmento precipita inmediatamente. Posteriormente se filtra, lava y seca [8].

La reacción que tiene lugar es:

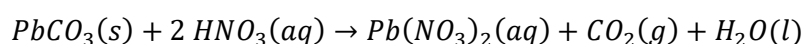


10.1.2. Propiedades físico-químicas e identificación química rápida

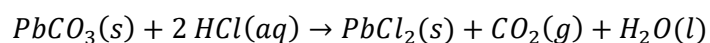
- Como todos los carbonatos, se descompone por reacción con ácidos.



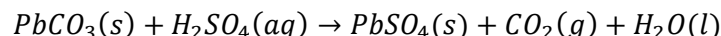
- ✓ Con ácido nítrico (HNO_3) se forma $Pb(NO_3)_2$, que es soluble.



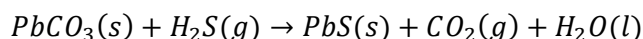
- ✓ Con ácido clorhídrico (HCl) deja un residuo blanco, que es dicloruro de plomo ($PbCl_2$), soluble en caliente.



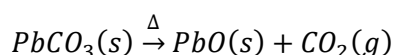
- ✓ Con ácido sulfúrico (H_2SO_4) deja un residuo blanco de sulfato de plomo (II) ($PbSO_4$), que también es un pigmento.



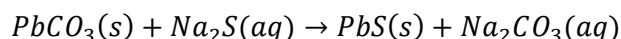
- ✓ Por reacción con vapores de sulfuro de hidrógeno (H_2S) (procedentes de ambientes contaminados, como los que hay en las ciudades), se vuelve negro porque se forma sulfuro de plomo (PbS).



- Al calentar el pigmento, se transforma en un sólido amarillo, que es óxido de plomo (PbO).

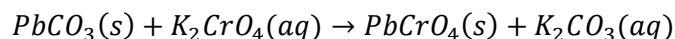


- En presencia de sulfuro de sodio (Na_2S) aparece un precipitado grisáceo, que es PbS .

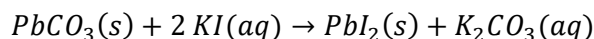


Por este motivo, este pigmento tampoco es compatible con otros pigmentos sulfurados.

- Con una disolución de cromato de potasio (K_2CrO_4) aparece un precipitado amarillo, que es cromato de plomo (II) ($PbCrO_4$).



- Con una disolución de yoduro de potasio (KI), se forma un sólido amarillo: diyoduro de plomo (PbI_2).



- Es tóxico.

10.1.3. Aspecto microscópico

A través del microscopio óptico se observa que el pigmento es semiopaco y que sus partículas presentan una geometría redondeada.

11. PROPUESTA DE ACTIVIDADES DIDÁCTICAS

11.1. *Tabla-resumen de los pigmentos*

Cada alumno deberá rellenar la siguiente tabla-resumen de cada uno de los pigmentos comentados.

Tabla 18: Tabla-resumen de los pigmentos

Nombre del pigmento	
Origen	
Color	
Imagen	
Fórmula química	
Épocas en las que se emplea	
Características	

11.2. *Cuestiones acerca de los pigmentos*

Las cuestiones acerca de los pigmentos son una serie de preguntas teóricas y experiencias de laboratorio acerca de los nueve pigmentos comentados. Los alumnos no dispondrán de toda la información contenida en este trabajo, ya que hay muchas cuestiones que pueden responder con los conocimientos que han ido adquiriendo a lo largo de las asignaturas mencionadas en el apartado 2. Por ejemplo, formulación y nomenclatura de compuestos inorgánicos (los que sean más complicados se entregarán formulados), deducción de estados de agregación, ajuste de reacciones químicas, deducción de las especies que participan en las diferentes reacciones, explicación en la medida de lo posible del porqué de estos, clasificación de las reacciones (ácido-base, redox...), etc. Hay otras cuestiones comentadas que quizá resulten un poco complejas para ellos y por tanto, no se incluirán en estas prácticas.

En los **Anexos 1-9** se muestran las fichas que se le entregará a cada alumno. También se les indicará que disponen de recursos digitales para buscar información acerca de las cuestiones.

12. CONCLUSIONES

- A partir de la información expuesta en el apartado de “Introducción”, los alumnos pueden extraer las siguientes ideas:
 - ✓ El motivo físico por el que una sustancia presenta un color determinado, es decir, si es blanca, negra o tiene una tonalidad concreta.
 - ✓ Los conceptos más relevantes acerca de la pintura; sus componentes principales, así como las características que deben exhibir; y las diferencias, en cuanto a procedencia y naturaleza, que se pueden establecer entre los distintos pigmentos.
- También se puede concluir que la pintura y los pigmentos han estado presentes a lo largo de toda la historia, pero no de una manera estática, sino en continuo cambio. Se han ido descubriendo nuevos pigmentos extraídos de fuentes naturales, pero también se han desarrollado rutas de síntesis que han permitido obtener materiales y tonalidades diferentes.
- Las vías de síntesis y las propiedades físico-químicas de los nueve pigmentos que se han explicado a lo largo del trabajo permiten a los alumnos desarrollar su capacidad científica, afianzar y relacionar los conceptos teóricos que han visto a lo largo de su formación académica y, sobre todo, tomar conciencia de que la química, aunque a veces abstracta, está presente en su día a día.

13. BIBLIOGRAFÍA

[1] Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato.

[2] M. San Andrés, N. Sancho, J. M. de la Roja; Alquimia: Pigmentos y colorantes históricos. *Anales RSEQ An. Quím.* 2010, 106(1), 58.

[3] J. Klinowski *et al.*; Magic angle spinning NMR shows the aluminosilicate framework of ultramarine to be disordered. *Nature* 1987, 30, 56.

[4] G. Yamaguchi, K. Yasushi; Synthesis of sulphosodalite, an ultramarine relating phase. *Bulletin of the Chemical Society of Japan* 1968, 41, 2641.

[5] G. Yamaguchi. Y. Kubo; Ultramarines synthesis under controlled sulfur vapor pressures. *Bulletin of the chemical society of Japan* 1968, 41, 2645.

[6] O. J. Restrepo Baena; Pigmento azul ultramar caracterización de proceso y producto. Tesis Doctoral, Oviedo, 1996.

[7] N. Sancho Cubino; Verdigrís, pigmento histórico de cobre: estudio de su composición y color a partir de reproducciones de antiguas recetas. Tesis Doctoral, Madrid, 2016.

[8] A. Palet; Tratado de pintura. Color, pigmentos y ensayo. Edicions de la Universitat de Barcelona, 2002, ISBN: 84-8338-313-6.

- Otra bibliografía

Los materiales de pintura y su empleo en el arte, Editorial Reverté, 1998, ISBN: 84-291-1423-8.

F. Burriel Martí, F. Lucena Conde, S. Arribas Jimeno, J. Hernández Méndez; *Química analítica cualitativa*, Editorial Paraninfo, 1974, ISBN: 84-283-1253-2.

M. A. Ciriano López, P. Román Polo; *Nomenclatura de Química Inorgánica. Recomendaciones de la IUPAC de 2005*, ISBN: 978-84-7733-905-2.

<https://todosigueigual.wordpress.com/2014/07/17/historia-del-color-y-su-relacion-con-la-quimica/>

www.investigart.com

<http://tesauros.mecd.es/tesauros>

<http://asignatura.us.es/materialesII/Carpetas/Apuntes/pintura/pinturas.pdf>

<http://pinturas-cm-117.blogspot.com.es/2011/10/componentes-quimicos-de-las-pinturas.html>

<https://es.slideshare.net/redondus/tema-12-pigmentos>

<https://iquimicas.com/componentes-una-pintura/>

https://www.facebook.com/permalink.php?id=1596912400579700&story_fbid=1666713773599562

<http://oa.upm.es/39501/1/ControlCalidadPinturas.pdf>

14. ANEXOS

14.1. Anexo I. Azurita

PIGMENTO I. AZURITA

- **Síntesis**

La siguiente síntesis no se va a llevar a cabo, pero se describe el procedimiento experimental para contestar a algunas de las cuestiones posteriores.

Se introduce en un tubo ancho de vidrio grueso una disolución de nitrato de cobre (II) con pedacitos de carbonato de calcio en exceso. Este tubo se encuentra unido a un manómetro. A continuación el tubo se cierra al soplete y se calienta. La azurita, de fórmula $Cu(OH)_2 \cdot 2CuCO_3$, se forma a temperatura ambiente cuando el CO_2 liberado durante la reacción alcanza una presión de 5 a 8 atm. El sólido se filtra, lava y seca a temperatura ambiente.

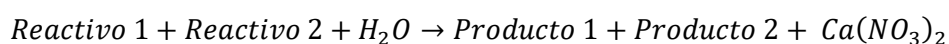
- **Cuestiones**

1. Formular o nombrar los compuestos que aparecen en la siguiente tabla indicando sus estados de agregación (como sustancia pura).

Compuesto	Fórmula/Nombre	Estado de agregación
Nitrato de cobre (II)		
Carbonato de calcio		
CO_2		

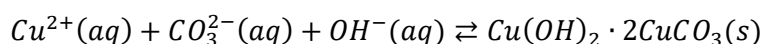
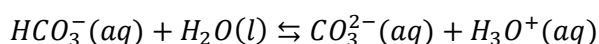
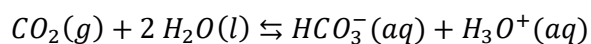
2. ¿Por qué el tubo ha de ser de vidrio grueso y debe estar cerrado? ¿Para qué se usa el manómetro?

3. La reacción que tiene lugar es:

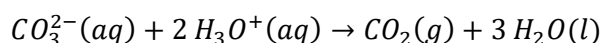


- a. Identificar los reactivos 1 y 2 y los productos 1 y 2.
- b. Ajustar la reacción.

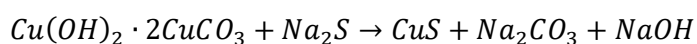
- c. Indicar los estados de agregación de cada una de las especies.
4. A partir de los tres equilibrios que se muestran a continuación y teniendo en cuenta el principio de Le Châtelier, explicar por qué el CO_2 tiene que alcanzar presiones tan elevadas (ajustar los equilibrios).



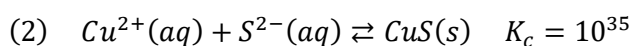
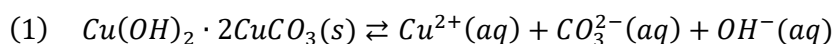
5. Con la ayuda de la reacción que se muestra a continuación, deducir si la azurita tiene carácter ácido o básico.



6. Introducir 0,25 g del pigmento en un vaso de precipitados y calentarlo en una placa calefactora. Se desprende un gas. Proponer cuál es dicho gas e indicar el cambio de color que se ha producido.
7. Este pigmento es incompatible con cualquier pigmento sulfurado. Para demostrarlo, se añaden 25 ml de una disolución de Na_2S 0,5 M a 1 g del pigmento. La reacción que tiene lugar se muestra a continuación.



- a. Ajustar la reacción, nombrar los reactivos y productos, indicar los estados de agregación de cada uno de ellos y anotar el color al que vira el pigmento.
- b. A continuación se muestra, sin ajustar, el equilibrio de solubilidad (1) del pigmento y la reacción de precipitación del Cu^{2+} con el S^{2-} (2). Pensar por qué es viable la formación del CuS y en consecuencia por qué la azurita es incompatible con pigmentos que contengan S^{2-} (pista: principio de Le Châtelier).



14.2. Anexo II. Azul cobalto**PIGMENTO II. AZUL COBALTO**

- **Síntesis**

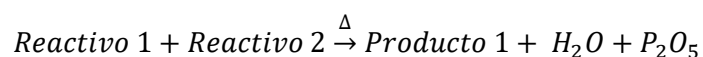
Se parte de 0,25 g de violeta de cobalto anhidro ($Co_3(PO_4)_2$) y 0,32 g de $Al(OH)_3$. Se pulverizan y se mezclan muy bien. A continuación, los reactivos se calientan en una cápsula de porcelana dentro de un horno a 600-700 °C hasta que aparezca el color azul característico del pigmento ($Al_2O_3 \cdot CoO$). Posteriormente se muele el producto obtenido.

- **Cuestiones**

1. Nombrar los reactivos comentados en la síntesis, indicando sus estados de agregación (como sustancia pura) y su color.

Compuesto	Nombre	Estado de agregación	Color
$Co_3(PO_4)_2$			
$Al(OH)_3$			

2. La reacción que tiene lugar es:



- a. Identificar los reactivos 1 y 2 y el producto 1.
- b. Ajustar la reacción.
- c. Indicar los estados de agregación de cada uno de los reactivos y productos (teniendo en cuenta que se han alcanzado temperaturas de 600-700 °C).

14.3. Anexo III. Azul ultramar**PIGMENTO III. AZUL ULTRAMAR****• Cuestión**

1. La fórmula del pigmento azul ultramar es $2Na_2S \cdot 3Al_2O_3 \cdot 3Na_2O \cdot 6SiO_2$. Pensar si el pigmento tendrá carácter ácido o básico y decir por qué. A continuación añadir un poco de ácido y oler la mezcla. ¿Qué producto que se ha podido formar? (Se puede consultar en internet).
2. Calcula:
 - a. El porcentaje en masa de oxígeno y de sodio que hay en el pigmento.
 - b. Los átomos de sodio que hay en 2 g del pigmento.
 - c. Los moles de átomos de silicio que hay en 0,5 g del pigmento.

14.4. Anexo IV. Malaquita**PIGMENTO IV. MALAQUITA**

- **Síntesis**

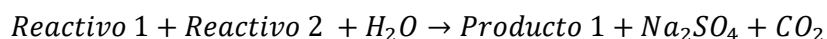
En un matraz aforado de 100 ml se prepara una disolución de carbonato de sodio 0,2 M. A continuación, se cogen en un vaso de precipitados 20 ml de una disolución de sulfato de cobre (II) 0,1 M. Sobre ella se van añadiendo porciones de la disolución de carbonato de sodio hasta que no aparezca precipitado. Entonces se deja el precipitado en reposo con las aguas madre durante 24 ó 48 horas. Se filtra, lava y seca a temperatura ambiente. El pigmento obtenido, de color azul verdoso, tiene la siguiente fórmula: $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$.

- **Cuestiones**

1. Formular los reactivos comentados en la síntesis, indicando sus estados de agregación (como sustancia pura) y su color.

Compuesto	Fórmula	Estado de agregación	Color
Carbonato de sodio			
Sulfato de cobre (II)			

2. La reacción que ha tenido lugar es la siguiente:



- a. Identificar los reactivos 1 y 2 y el producto 1.
- b. Ajustar la reacción.
- c. Indicar los estados de agregación de cada uno de los reactivos y productos.

14.5. Anexo V. Oropimente

PIGMENTO V. OROPIMENTE

- **Síntesis**

La siguiente síntesis no se va a llevar a cabo, pero se describe el procedimiento experimental para contestar a algunas de las cuestiones posteriores.

Conviene llevar a cabo la reacción en campana extractora. En un vaso de precipitados se introducen, en fase sólida, As_2O_3 , Na_2S y Na_2CO_3 con la suficiente cantidad de agua como para que se disuelva todo. Se debe calentar para facilitar la disolución. A continuación, se añade con agitación una disolución de HCl , precipitando de inmediato el pigmento, de fórmula As_2S_3 y de color amarillo. En función de la cantidad de Na_2S que se añada, se puede desprender un poco de H_2S . El contenido se filtra, lava y seca.

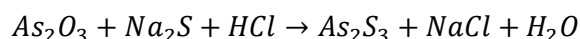
- **Cuestiones**

1. Nombrar los compuestos comentados en la síntesis, indicando sus estados de agregación (como sustancia pura) y su color.

Compuesto	Nombre	Estado de agregación	Color
As_2O_3			
Na_2S			
Na_2CO_3			
HCl			
As_2S_3			
H_2S			

2. ¿Cómo podemos saber si se ha desprendido H_2S ?

3. La reacción que tiene lugar es:



- a. Ajustar la reacción.
 - b. Indicar los estados de agregación de cada uno de los reactivos y productos
4. Este pigmento se descompone en presencia de *HCl* muy concentrado y muy caliente, ¿Cuáles serán los productos formados? Para saber uno de ellos basta con oler el producto. Escribir la reacción química, ajustarla, indicar los estados de agregación de cada uno de los reactivos y productos y el tipo de reacción.
 5. Coger una punta de espátula del pigmento, ponerlo en un tubo de ensayo y calentarlo al mechero Bunsen. ¿Qué se observa?

14.6. Anexo VI. Minio**PIGMENTO VI. MINIO**

- **Síntesis**

En una cápsula de porcelana se introducen 0,5 g de PbO . A continuación se introduce la cápsula en un horno y se calienta, en presencia de aire, a una temperatura de 550 °C. El pigmento formado tiene como fórmula Pb_3O_4 (hay que tener cuidado de no superar esta temperatura porque si no la reacción revierte).

- **Cuestiones**

1. Nombrar los compuestos comentados en la síntesis, indicando sus estados de agregación (como sustancia pura) y su color.

Compuesto	Nombre	Estado de agregación	Color
PbO			
Pb_3O_4			

2. Deducir la reacción que tiene lugar y responder a las siguientes cuestiones relacionadas con ella.
 - a. Ajustar la reacción.
 - b. Indicar los estados de agregación de cada uno de los reactivos y productos.
 - c. Indicar el tipo de reacción que tiene lugar.

14.7. Anexo VII. Bermellón**PIGMENTO VII. BERMELLÓN****• Cuestiones**

1. Poner en un vaso de precipitados media espátula del pigmento, de fórmula HgS . A continuación taparlo con un vidrio de reloj y echar sobre este último un poco de agua fría. Calentar el vaso de precipitados con una placa calefactora. Observar y explicar qué ocurre en la parte inferior del vidrio de reloj.
2. Si se calienta el pigmento en presencia de Zn en polvo, aparecen unas gotas grises en las zonas frías del recipiente. Si se hace con limaduras de Fe , se observa el mismo fenómeno. Deducir qué reacción ocurre en cada caso, ajustarlas e indicar los estados de agregación de las especies y el tipo de reacción.

14.8. Anexo VIII. Violeta de cobalto**PIGMENTO VIII. VIOLETA DE COBALTO**

- **Síntesis**

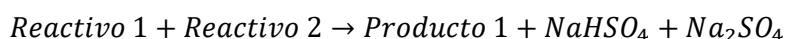
Se introducen 30 ml de una disolución de $CoSO_4$ 0,1 M en un vaso de precipitados. A continuación se va añadiendo poco a poco una disolución de Na_2HPO_4 0,2 M hasta que deje de precipitar el pigmento azul violáceo, de fórmula $Co_3(PO_4)_2$. Se filtra el precipitado (mejor en caliente), se lava con agua caliente y se seca al aire.

- **Cuestiones**

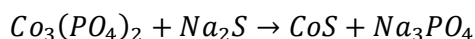
1. Nombrar los compuestos comentados en la síntesis, indicando sus estados de agregación (como sustancia pura) y su color.

Compuesto	Nombre	Estado de agregación	Color
$CoSO_4$			
Na_2HPO_4			
$Co_3(PO_4)_2$			

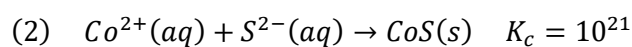
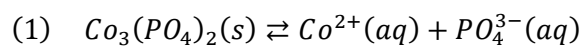
2. La reacción que tiene lugar es:



- a. Identificar los reactivos 1 y 2 y el producto 1.
 - b. Ajustar la reacción.
 - c. Indicar los estados de agregación de cada uno de los reactivos y productos
3. Este pigmento es incompatible con cualquier pigmento sulfurado. Para demostrarlo, se introducen 0,2 g del pigmento en un vaso de precipitados, y se les añade 20 ml de disolución de Na_2S 0,1 M. La reacción que tiene lugar se muestra a continuación.



- a. Ajustar la reacción, nombrar los reactivos y productos, indicar los estados de agregación de cada uno de ellos, indicar el tipo de reacción que tiene lugar y anotar el color al que vira el pigmento.
- b. A continuación se muestra, sin ajustar, el equilibrio de solubilidad del pigmento (1) y la reacción de precipitación del Co^{2+} con el S^{2-} (2). Pensar por qué es viable la formación del CoS y en consecuencia por qué el violeta de cobalto es incompatible con pigmentos que contengan S^{2-} (pista: principio de Le Châtelier).



14.9. Anexo IX. Blanco de plomo**PIGMENTO IX. BLANCO DE PLOMO**

- **Síntesis**

La siguiente síntesis no se va a llevar a cabo, pero se describe el procedimiento experimental para contestar a algunas de las cuestiones posteriores.

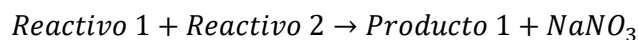
Se añade a una disolución caliente de nitrato de plomo (II) otra disolución de carbonato de sodio en exceso. El pigmento, de fórmula $PbCO_3$, precipita inmediatamente. Posteriormente se filtra, lava y seca.

- **Cuestiones**

1. Formular y nombrar los compuestos comentados en la síntesis, indicando sus estados de agregación (como sustancia pura) y su color.

Compuesto	Fórmula/Nombre	Estado de agregación	Color
Nitrato de plomo (II)			
Carbonato de sodio			
$PbCO_3$			

2. La reacción que tiene lugar es:



- a. Identificar los reactivos 1 y 2 y el producto 1.
 - b. Ajustar la reacción.
 - c. Indicar los estados de agregación de cada uno de los reactivos y productos.
 - d. Indicar el tipo de reacción que tiene lugar.
2. Al ser un carbonato, se descompone por reacción con ácidos. Escribir la ecuación en forma iónica, ajustarla e indicar los estados de agregación de los reactivos y productos.

3. En tres tubos de ensayo se introduce una punta de espátula del pigmento. En el tubo 1 se añade, con cuentagotas, ácido nítrico comercial; en el tubo 2, ácido clorhídrico comercial; y en el tubo 3, ácido sulfúrico comercial. Se deja de añadir ácido cuando no se observe efervescencia. Escribir en cada caso la reacción que tiene lugar (sabiendo que en todos los casos se forma CO_2 y H_2O), indicar si aparece o no residuo y, en caso afirmativo, indicar su color. Formular y nombrar cada uno de las especies e indicar su estado de agregación.

4. En un vaso de precipitados se pone una espátula del pigmento. A continuación se calienta en una placa calefactora. ¿Qué se observa? Escribir la reacción, indicando qué tipo de reacción es y los estados de agregación de reactivos y productos.