

FÍSICA, QUÍMICA Y UN POCO DE HISTORIA, MITOLOGÍA Y ARTE EN “LA FRAGUA DE VULCANO”

Mercedes Gallego Amo

Dpto. Física y Química

IES. Isaac Peral de Torrejón de Ardoz



IV Encuentro entre el profesorado

Sábado, 23 de abril de 2016

Museo del Prado

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción.....	4
2. Objetivos.....	4
3. Palabra clave.....	4
4. Metodología.....	5
5. Presentación a los alumnos.....	5
a) Aspectos históricos.....	5
Galileo y el método científico.....	6
Galileo y el telescopio.....	7
Galileo y Velázquez.....	8
b) Aspectos mitológicos.....	10
c) Aspectos artísticos.....	12
La influencia de Italia.....	12
Los colores.....	12
La composición.....	12

d) Estudio de la luz desde la física.....	13
Naturaleza de la luz.....	13
Camino seguido por la luz.....	14
Formación de sombras.....	14
Las sombras en la fragua de Vulcano.....	16
La reflexión de la luz.....	17
Ubicación de la fuente de iluminación.....	18
e) Análisis de palancas en la fragua de Vulcano.....	21
f) Estudio de los procesos físicos y químicos que ocurren en una fragua.....	27
Partes de una fragua.....	27
Herramientas en la fragua.....	27
Metalurgia del hierro.....	27
Finalidad de la fragua.....	29
Química en el hogar.....	29
Física y química en el yunque.....	31
Física en el baño frío.....	31
Vulcano: un gran herrero.....	32
6. Máquinas simples en los cuadros del museo del Prado.....	32
7. Bibliografía.....	40

1. INTRODUCCIÓN

El objeto de estudio de esta unidad son tres contenidos de la asignatura de física y química.

Desde la **física** se estudia la formación de sombras debido a la propagación rectilínea de la luz y los géneros de las diversas palancas que aparecen en el cuadro.

Desde la **química** se estudia el proceso de templado del hierro que se produce en una fragua, las etapas por las que pasa el metal y las transformaciones que tienen lugar en cada etapa.

Se contemplan también aspectos **históricos, mitológicos y artísticos** relacionados con esta obra y con Velázquez en el momento de pintarla.

El enfoque conjunto de todos estos aspectos proporciona a los alumnos la idea de que una obra de arte es el resultado de los conocimientos y la destreza de su autor, pero que no hay que olvidar la influencia de la época y del contexto personal, político y social en el que vivió.

El nivel educativo es 3º ESO ya que estos contenidos forman parte del currículo de este curso y de cursos anteriores.

2. OBJETIVOS

Fomentar la curiosidad en los alumnos como primera etapa del aprendizaje.

Comprender que las diferentes disciplinas no pueden ser estudiadas de forma aislada. Los alumnos contemplan elementos de arte, historia y ciencia en el mismo espacio-tiempo.

Disfrutar de la ciencia y del arte. La unidad didáctica proporciona a los alumnos una disculpa para dedicar un tiempo a la observación de esta obra y otras del museo lo que les permitirá plantearse preguntas sobre ellas desde diferentes aspectos, agudizar su capacidad de observación y en algunos casos ayudar a su espíritu investigador.

3. PALABRA CLAVE: "Observación"

Los alumnos dedican, habitualmente, un tiempo insuficiente a la contemplación de un problema, su enunciado o cualquier otro tema relacionado con su aprendizaje.

Todas aquellas actividades que contribuyan a mejorar esta destreza tendrán una influencia positiva en su formación.

4. METODOLOGÍA

La unidad tiene dos partes:

- a) **Presentación interactiva** (ppt) a los alumnos con los contenidos de la unidad
- b) **Visita al museo del Prado** y un pequeño trabajo que será expuesto a sus compañeros.

5. PRESENTACIÓN A LOS ALUMNOS

Se realiza contemplando los diferentes aspectos indicados en la introducción.

a) ASPECTOS HISTÓRICOS

Velázquez pinta "La fragua de Vulcano" en el año 1630 en su primer viaje a Italia, concretamente durante su estancia en Roma.

Tenía 30 años y trabajaba como pintor de la corte del rey Felipe IV cuando fue animado por Rubens a ampliar sus estudios en Italia. Con el beneplácito del rey y las cartas de presentación adecuadas se embarca el 10 de agosto de 1629 en la comitiva de Ambrosio Spínola desembarcando en Génova. Viaja desde esta ciudad a Venecia y allí estudia fundamentalmente la pintura de Tintoretto y Ticiano.

De camino a Roma se detiene en Ferrara y Cento para encontrarse con Guercino¹, y en Bolonia donde pintaba Guido Reni². El objetivo del viaje era Roma; allí Velázquez contempla las obras de la antigüedad y el renacimiento, la Capilla Sixtina y las obras de Miguel Angel y Rafael.

En esta ciudad pinta dos grandes cuadros: "La fragua de Vulcano" y "La túnica de José" que fueron adquiridos posteriormente por Felipe IV. También pintó dos pequeños paisajes de la villa Médicis³.

Velázquez regresa a España desde Nápoles coincidiendo en esta ciudad con Ribera.

Velázquez vivió en una época de grandes cambios y fue coetáneo de personajes relevantes en la política, la literatura, el arte, la música y la ciencia.

Las relaciones entre los personajes y sus actividades son más fáciles de recordar por los alumnos que los conocimientos inconexos; las anécdotas permanecen mayor tiempo en su memoria y les permitirán buscar la coherencia histórica de los hechos.

Con este criterio, en esta unidad, se hace una referencia a aquellos personajes que vivieron más cerca del pintor o bien que coincidieron con él en su viaje a Italia y se buscan las relaciones e influencias entre ellos.

¹ Guercino, Giovanni Francesco Barbieri, fue un pintor italiano muy famoso. El museo del Prado cuenta con algunas obras suyas, "Susana y los viejos" (1627), "San Agustín meditando sobre la Trinidad" (1636) entre otras.

² En el museo del Prado se encuentran algunas obras de Guido Reni, "Hipómenes y Atalanta" entre otras.

³ "La túnica de José" se encuentra en el monasterio del Escorial y los cuadros de la villa Médicis en el museo del Prado.

- i. Como **político**, el rey Felipe IV tuvo una importancia decisiva en la vida y obra de Velázquez.
- ii. Como **literato**, Calderón de la Barca escribe “El sitio de Breda” donde se trata el encuentro entre el gobernador Nassau rendido y el general Spínola vencedor desde el mismo carácter amistoso y respetuoso que en el cuadro de Velázquez. La obra de Calderón es anterior a la de Velázquez. Además del conocimiento de la obra literaria el pintor pudo aportar a su pintura su conocimiento personal de Spínola durante el viaje a Italia⁴.
- iii. Como **músico**, Claudio Monteverdi era maestro de coro y director en la catedral de San Marcos de Venecia desde 1613 hasta su fallecimiento en 1643 componiendo óperas, obras religiosas y profanas. En Venecia Velázquez fue hospedado por el embajador de España en la propia embajada. Las relaciones políticas entre el reino de España y la república de Venecia eran entonces muy tensas y necesitaba escolta para visitar los lugares donde se encontraban las obras que quería visitar y copiar. Con todo es de suponer que frecuentó ambientes cultos y selectos en los cuales es muy probable que el pintor y el músico se conocieran o al menos oyeran hablar el uno del otro dada la importancia y fama de ambos.
- iv. Como **científicos** importantes y conocidos vivieron en la época de Velázquez, Johannes Kepler y Galileo Galilei. El primero era alemán y no vivió en Italia, aunque tuvo mucha relación con Galileo ya que ambos eran defensores de la teoría heliocéntrica de Copérnico y buscaban pruebas para justificarla. Galileo vivió siempre en Italia y fue un científico de enorme prestigio. Sus aportaciones a la ciencia son muy numerosas e importantes. Encontró alguna de las leyes del movimiento de los cuerpos, trabajó con planos inclinados y estudió los movimientos acelerados. Así comprobó en los últimos años de su vida que las leyes de caída de los cuerpos son independientes de la masa de los cuerpos lo que contradice totalmente la teoría de Aristóteles para este hecho físico. Fabricó un termoscopio y encontró la ley del péndulo intuyendo, también al final de sus días, la aplicación que esta ley podía tener en la medida del tiempo⁵.

Galileo y el método científico: Utilizó “*el método científico*” como método de trabajo en sus investigaciones, basando siempre sus teorías en mediciones experimentales rigurosas, lo que no era aún habitual en la época. También Kepler basó en la experimentación sus teorías; a la muerte de Tycho Brahe recogió sus excelentes mediciones astronómicas y dedujo con ellas sus tres famosas leyes que describen el movimiento de los planetas alrededor del Sol mediante sencillos enunciados matemáticos. Las tres leyes de Kepler siguen plenamente vigentes sin ninguna modificación. Con Galileo y Kepler comienza el gran desarrollo de la física. Precisamente

⁴ “El cuadro de las lanzas” fue pintado por Velázquez entre 1634 y 1635 aunque el hecho histórico ocurrió en 1625. Spínola viajó a Italia en 1629 para hacerse cargo de la gobernación del Milanesado. Falleció en Italia al año siguiente, en septiembre de 1630.

⁵ Christiaan Huygens construyó el primer reloj de péndulo en el año 1656 inspirándose en las investigaciones del péndulo realizadas por Galileo.

el año que fallece Galileo nace Newton, el cual, basándose en las leyes de Kepler y en el conocimiento que aportó Galileo de la mecánica, encuentra la formulación matemática de la ley de gravitación universal y un valor para la constante de gravitación universal, "G", extremadamente aproximado al que Cavendish midió experimentalmente con su balanza de torsión un siglo después. Este valor tan aproximado da idea de la calidad de las medidas de Tycho Brahe, con sus instrumentos sencillos de observación y medida, y del rigor en los tratamientos matemáticos que hicieron Kepler y Newton con las medidas de Brahe.

A partir de Galileo las teorías científicas estarán siempre justificadas por medidas experimentales y apoyadas en el rigor del método científico.

Galileo y el telescopio. Hans Lippershey era un científico y fabricante de lentes que construyó el primer telescopio en el año 1608⁶. Sus diseños llegaron a oídos de Galileo mientras era profesor de matemáticas en Padua. Rápidamente se puso a trabajar en la construcción de su propio telescopio. Los instrumentos fabricados por Galileo mejoraron los de Lippershey debido a que tenían más aumentos, llegó a conseguir telescopios con 30X, y que presentaban menos problemas de aberración en los laterales de las lentes. En agosto de 1609 invitó al Senado Veneciano a observar con su telescopio, desde la torre del Campanile en la plaza de San Marcos, la llegada de los barcos que se acercaban a la ciudad⁷. La demostración fue un éxito y evidenció la utilidad de este instrumento. Los dirigentes de Venecia pudieron divisar barcos acercándose a la ciudad antes de ser vistos directamente lo cual tenía mucho interés en la defensa de la ciudad. También Kepler construyó su propio telescopio, utilizando dos lentes convexas obteniendo imágenes invertidas mientras que Galileo utilizó una lente convexa y otra cóncava, la más cercana al ojo, obteniendo imágenes derechas. Para Galileo el interés del telescopio estaba en el cielo, lo dirigió hacia él y buscaba una razón que le permitiera defender la teoría de Copérnico. Así encontró cuatro satélites de Júpiter: Io, Europa, Ganímedes y Calisto. También observó las fases de Venus, cráteres y montañas en la Luna⁸, las estrellas que componían la Vía Láctea y manchas solares. En el mes de marzo de 1610 describe sus observaciones en la publicación "*Sidereus nuntius*" ("*El mensajero de las estrellas*").

⁶ No está totalmente demostrado que Lippershey fuera el primero en fabricar el telescopio. Algunos científicos y fabricantes de lentes reclamaron este derecho. Lo que sí es cierto es que Lippershey quiso obtener la patente sin conseguirlo y que su uso se extendió rápidamente.

⁷ Galileo regaló a la República Veneciana el telescopio y el Senado duplicó su sueldo y le nombró profesor vitalicio de Padua.

⁸ Galileo interpretó las manchas de la Luna como debidas a las sombras producidas por montañas, rebatiendo la teoría de Aristóteles que pensaba que los astros eran perfectamente esféricos.

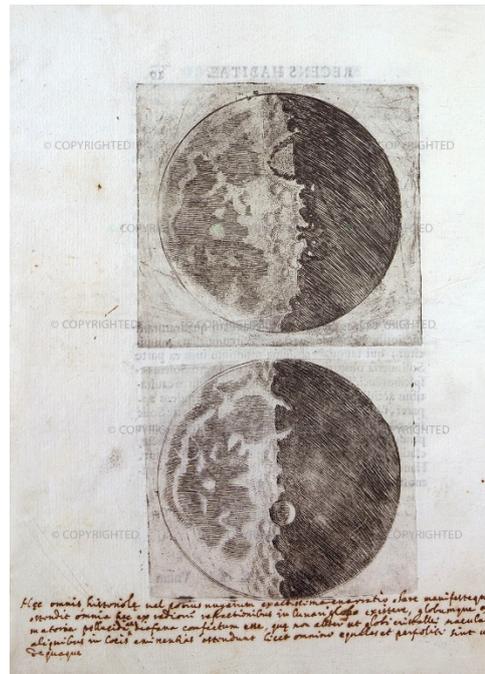


Fig.1 Dibujos de la Luna realizados por Galileo a partir de sus observaciones con el telescopio.
Museo Galileo de Florencia.

Aunque en principio sus publicaciones no parecen crearle problemas, en el año 1616 recibe la orden del "Santo Oficio" de no defender en público las teorías de Copérnico y únicamente en discusiones científicas privadas. Solo le fue permitido hablar de ellas a sus alumnos mostrándolas como meras especulaciones. La orden es cumplida a medias y después de la obra que publica en 1632 "*Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo*" es sometido a su famoso juicio en el año 1633. Desde esta fecha hasta su fallecimiento permanece confinado en su casa de Florencia. Sus instrumentos y algunos de sus descubrimientos están recogidos en el "Museo Galileo de Florencia".

Galileo y Velázquez. Galileo vive en Florencia cuando Velázquez visita Italia. La defensa de la teoría heliocéntrica por parte de este científico era entonces objeto de grandes debates en la sociedad culta del momento de los que seguro el pintor no fue ajeno. Por otro lado, Velázquez tenía un gran interés en la astronomía, en su almoneda se encontraron telescopios y libros de astronomía y astrología. Se desconoce cuándo y dónde fueron adquiridos los telescopios, pero se sabe que eran objetos caros y valiosos en su época.

"Catorce obras de Astronomía o Cosmografía y nueve de Astrología y artes adivinatorias"... "Dos antojos de larga vista, con los cauos de marfil, en sus cajas carmesí y tres antojos de larga vista, los dos en pergamino y el otro colorado con cabos de marfil"⁹...

Hay que recordar que Galileo fabricó y vendió muchos telescopios en esos años, incluso regaló uno al Papa y envió otro a Kepler. El telescopio y su uso en la contemplación del universo constituían la moda del momento.

⁹ Ángel del CAMPO Y FRANCÉS. La magia de las meninas, A-Z Ediciones y publicaciones, S.A, 1989. pp. 28



Fig.2 Telescopio de Galileo. Museo Galileo de Florencia.

No está claro que Velázquez visitara Florencia, ciudad en la que entonces vivía Galileo, en su paso desde Bolonia a Roma¹⁰.

José Antonio Maravall en su libro "Velázquez y el espíritu de la modernidad" compara los espíritus de Velázquez y Galileo y los sitúa en el sentido del barroco que vivieron.

"Galileo ha tenido especial empeño en barrer los restos de un idealismo trivial, basado en la pretendida noción de perfección". "La naturaleza no es una perfección ideal sino un mero campo de experiencia". "No deja rodar objetos por la ladera de una montaña, sino que prepara un plano inclinado para realizar sus experiencias".

"Velázquez no representa una idealización de la realidad y tampoco copia la realidad de forma absoluta. Siguiendo la mentalidad del hombre moderno, pinta la experiencia de la realidad"¹¹.

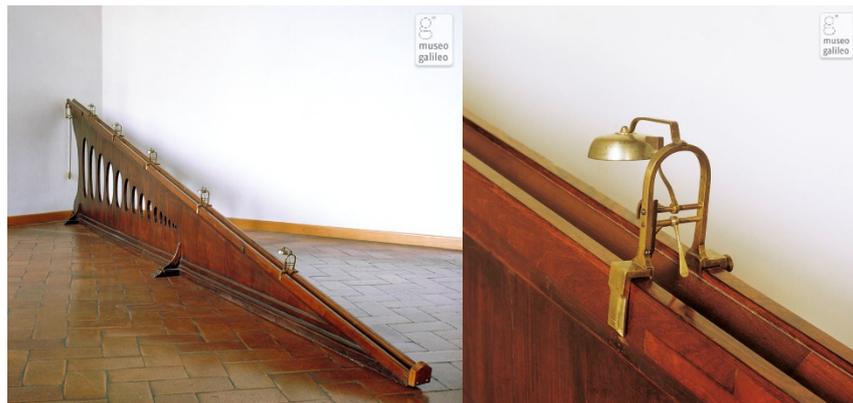


Fig.3 Plano inclinado construido por Galileo. Museo Galileo de Florencia.

¹⁰ Se conocen aspectos del viaje a Italia de Velázquez por el relato que de él hace su suegro Pacheco. En su relato describe los encuentros que el pintor tuvo con personas importantes de la Iglesia y la política, pero no así del resto de sus actividades.

¹¹ José Antonio MARAVALL. "Velázquez y el espíritu de la modernidad" pp. 106-107

b) ASPECTOS MITOLÓGICOS

Personajes: Vulcano, Apolo y los cíclopes.



Fig.4 La fragua de Vulcano. Velázquez, 1630. Museo del Prado

Vulcano era el dios romano del fuego y los volcanes. Es el equivalente al dios Hefesto en la mitología griega. Vivía en el interior de un cráter en "*Vulcano*", una isla en el archipiélago de las islas Eolias. Construía las armas y armaduras de los dioses y los héroes.



Fig.5 Archipiélago de las islas Eolias.

Vulcano era hijo de Júpiter y Juno, dioses mayores en la mitología romana. Su madre lo engendró en un momento de cólera por las infidelidades de Júpiter y por esta causa nació feo y deforme. Por esta causa su madre lo arrojó al mar y fue recogido por dos diosas marinas que lo educaron. Cuando creció se convirtió en herrero.

Decidió vengarse de su madre y fabricó un trono para ella. Juno se sentó y cuando fue a levantarse no pudo hacerlo. Vulcano pidió casarse con Venus a cambio de liberar a su madre del trono. Es así como Vulcano se casó con la joven y bella diosa Venus.

Los cíclopes ayudaban a Vulcano en la fragua. Se les atribuía un solo ojo, pero Velázquez los pinta con aspecto humano.

Apolo era el dios de la música, la poesía y el Sol.

El tema del cuadro ha sido recogido por diferentes pintores y es descrito en la literatura ("La Metamorfosis", Ovidio). Velázquez elige un momento de gran tensión cuando Apolo visita la fragua para comunicar a Vulcano que ha visto a su esposa Venus serle infiel con el dios Marte.

c) ASPECTOS ARTÍSTICOS

La influencia de Italia. "Durante mucho tiempo se consideró que copiar los grandes frescos de Rafael y Miguel Ángel en el Vaticano era un requisito universal de la formación artística. Del techo de la Capilla Sixtina los pintores aprendían las sutilezas del dibujo anatómico y las posibilidades de la figura humana para la expresión de ideas y emociones"¹². Velázquez viaja a Roma para aprender en el centro de la pintura europea. Pretende ser uno de los grandes y en este contexto pinta "La fragua de Vulcano" y "La túnica de José". En ambos se observan elementos de su pintura anterior y elementos de los nuevos conocimientos adquiridos. Así en la fragua, los objetos repartidos en la estancia como si de un bodegón se tratara recuerdan su época sevillana, y los personajes de marcada anatomía recuerdan las esculturas clásicas y las pinturas que ha observado de Tintoretto y Miguel Ángel entre otros. Cuando se compara este cuadro con "Los borrachos" que fue pintado justo antes de su viaje llama de inmediato la atención la diferencia en las anatomías de los personajes.



Fig.6 Comparación de anatomías

Los colores. Utiliza colores rojizos, ocre y tierra como en su primera etapa, pero el color naranja de la túnica de Apolo recuerda a la escuela veneciana¹³. Estos colores proporcionan un ambiente muy especial a la fragua que fascina al espectador, y que idealiza en cierto modo el realismo de la escena.

En "La túnica de José" utiliza colores vivos que no vuelve a utilizar en sus cuadros y que también recuerdan a las pinturas que ha visto en Venecia.

La pincelada se ha hecho más ligera, más alada.

La composición está organizada alrededor de la figura de Vulcano y sin embargo todos los herreros miran al dios Apolo paralizados por la noticia. El observador mira también hacia Apolo siguiendo la mirada de Vulcano y de los ciclopes.

Los personajes son humanos y gente corriente exceptuando la aureola de Apolo. Vulcano aparece con el torso inclinado debido a su cojera. Hay muchos personajes en un espacio no muy grande pero la disposición en elipse da idea de que hay suficiente espacio entre ellos y de que pueden moverse con libertad.

Velázquez pudo basar la composición de este cuadro en un grabado realizado por Antonio Tempesta para decorar el libro "Las metamorfosis" en el año 1606.

¹² Jonathan BROWN. "Velázquez pintor y cortesano". Madrid, Editorial Alianza Ediptrial, S.A. 1986, pp. 69-77

¹³ En el cuadro "La túnica de José" el colorido es una de las primeras impresiones que recibe el espectador.



Fig.7 Antonio Tempesta. Ilustración de las metamorfosis de Ovidio.

La intención del pintor. Velázquez pensaba que la pintura es una actividad mental comparable con la música y las artes y diferente de la mera artesanía. Apolo representa el arte, "artes mayores" mientras que Vulcano representa la artesanía, el esforzado trabajo mecánico, "artes menores".

"La fragua de Vulcano" y "La túnica de José" son pintados por Velázquez sin encargo previo, aunque serán adquiridos en 1634 por Felipe IV, en concreto la fragua para decorar el palacio del Buen Retiro. Velázquez demuestra en ellos cómo ha incorporado a su arte lo aprendido en Italia.

De él se había dicho que era un excelente pintor de retratos pero que no estaba capacitado para las grandes obras compositivas. Estas dos obras son un alarde de lo contrario. En ambas obras recoge un instante concreto, paraliza el tiempo y describe mediante la expresión los afectos y los sentimientos de los personajes.

En la fragua nos muestra la sorpresa e incredulidad de los cíclopes, la cólera de Vulcano y la arrogancia de Apolo. A la vez nos transmite la magia de esa estancia, un lugar donde se fabricaban las armaduras de los dioses y los héroes, "la fragua de un dios", un lugar al que no pertenece a los mortales.

d) ESTUDIO DE LA LUZ DESDE LA FÍSICA

Naturaleza de la luz

Desde Demócrito en la antigua Grecia hasta mediados del siglo XVII se pensaba que la luz consistía en una corriente de partículas o corpúsculos. Estos corpúsculos eran emitidos por los focos luminosos, alejándose de éstos en línea recta. Podían penetrar

las sustancias transparentes y se reflejaban en las superficies de los cuerpos opacos. Esta teoría corpuscular fue ampliamente defendida pues explicaba y justificaba los fenómenos que la luz producía.

En el año 1670, Christian Huygens propuso una teoría ondulatoria de la luz que explicaba nuevos fenómenos que no podía explicar la teoría corpuscular. Esta teoría no triunfó entonces entre la comunidad científica debido principalmente al prestigio de Newton, firme defensor de la teoría corpuscular.

Durante los siglos siguientes ambas teorías coexistieron mientras iban apareciendo nuevos fenómenos que se justificaban, bien con una o bien con otra teoría.

- Con la teoría ondulatoria se justifican interferencias, difracción y polarización.
- Con la teoría corpuscular se explican el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton.
- Y con ambas teorías la reflexión y la refracción.

Einstein en el siglo XX unifica ambas teorías interpretando la luz como la propagación de corpúsculos de energía que se mueven asociados a una onda, los fotones.

Camino seguido por la luz

De forma independiente a estas teorías, en el año 1662 Pierre Fermat, un matemático francés, enunció el famoso "*Principio de Fermat*": "*La luz se propaga de un punto a otro siguiendo la trayectoria para la cual el tiempo que invierte en el desplazamiento es mínimo*". Es decir, entre todos los posibles caminos que puede seguir, la luz elige el más rápido que no tiene por qué coincidir con el más corto.

Según este principio cuando la luz viaja por un medio isótropo y homogéneo en el cual la velocidad es la misma en todos los puntos del medio, la línea recta es la trayectoria en la que invierte menos tiempo. En este caso coinciden el camino más corto y el más rápido. El aire es considerado un medio de estas características.

El Principio de Fermat explica los fenómenos de reflexión y refracción, así como la formación de sombras sin referirse a ninguna de las dos teorías acerca de la naturaleza de la luz.

Formación de sombras

Uno de los fenómenos originados por la trayectoria rectilínea de la luz es la formación de sombras, aspecto muy impactante en la pintura.

Hay que distinguir entre sombra y penumbra. La sombra es el lugar donde no llegan rayos de luz directamente desde el foco luminoso. La penumbra es el lugar al que llegan pocos de estos rayos directos.

Ni en la sombra ni en la penumbra la oscuridad suele ser total porque los objetos iluminados directamente dispersan cierta cantidad de luz en todas direcciones.

Si el foco luminoso es puntual solo se produce sombra, se trata de sombras nítidas. Si el foco no es puntual una porción de la zona de sombra es penumbra.

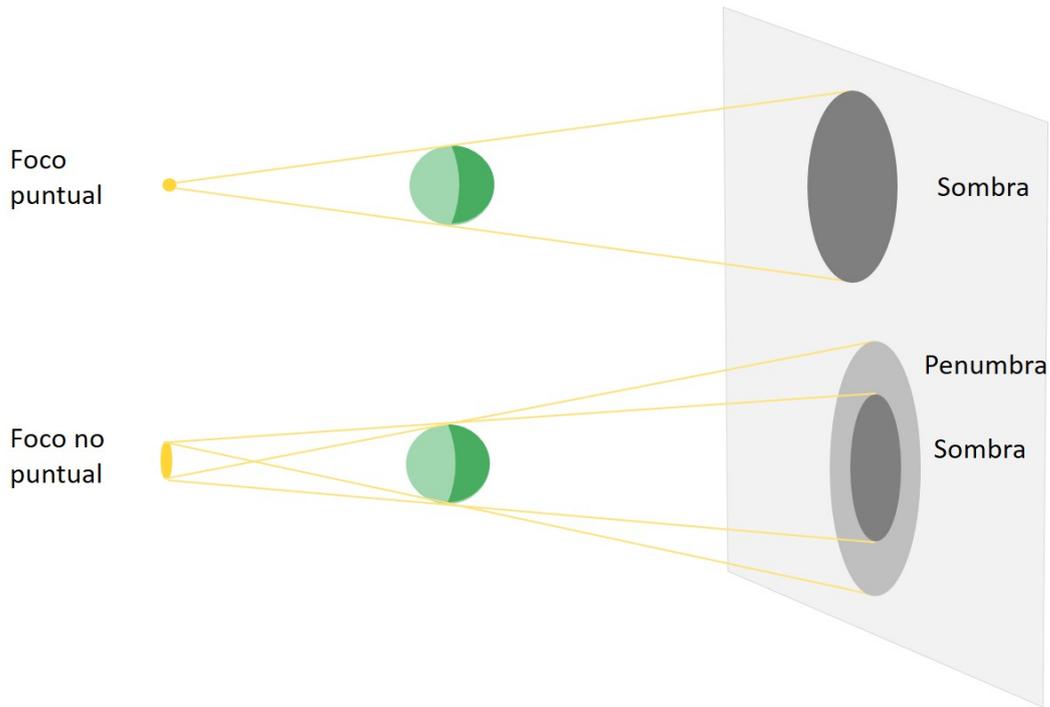


Fig 8. Formación de sombra y penumbra



Fig 9. Sombra con bombilla led (foco puntual)



Fig 10. Sombra con bombilla bajo consumo (no puntual)

El Sol es el foco luminoso más puntual de todos los que nos rodean debido a su lejanía. Basta con observar las sombras producidas por él para darse cuenta de su perfecta nitidez, de que en ellas no hay zona de penumbra.

Las sombras en “La fragua de Vulcano”

En esta unidad se observan las sombras en el cuadro de Velázquez concluyendo que las sombras son perfectamente nítidas y por lo tanto la luz, solar o artificial, procede de un foco puntual. Puede tratarse de luz solar entrando por una ventana, una puerta, o bien una fuente, pero no nos imaginamos con estas sombras definidas la estancia iluminada, por ejemplo, mediante antorchas.



Fig 11. Sombras en “La fragua de Vulcano”

Observar la diferente intensidad de luz en las sombras dejadas por el candil y por el jarrito. Al jarrito solo le llega la luz directa que produce una sombra perfecta pero la sombra del candil, aunque es nítida es menos oscura porque está sobre un muro iluminado por la luz del fuego de la fragua.



Fig 12. Sombras en "La fragua de Vulcano"

El estudio de las sombras permite situar de forma aproximada el foco de luz que ilumina la estancia. La fuente de luz está a la izquierda de la estancia, hacia el espectador, en un plano anterior al de los personajes y en una posición ligeramente elevada respecto a la altura de los personajes.

La reflexión de la luz

Es posible determinar con mayor precisión la posición del foco de luz pensando en las leyes de la reflexión de Snell: "El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado están en el mismo plano y el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión".

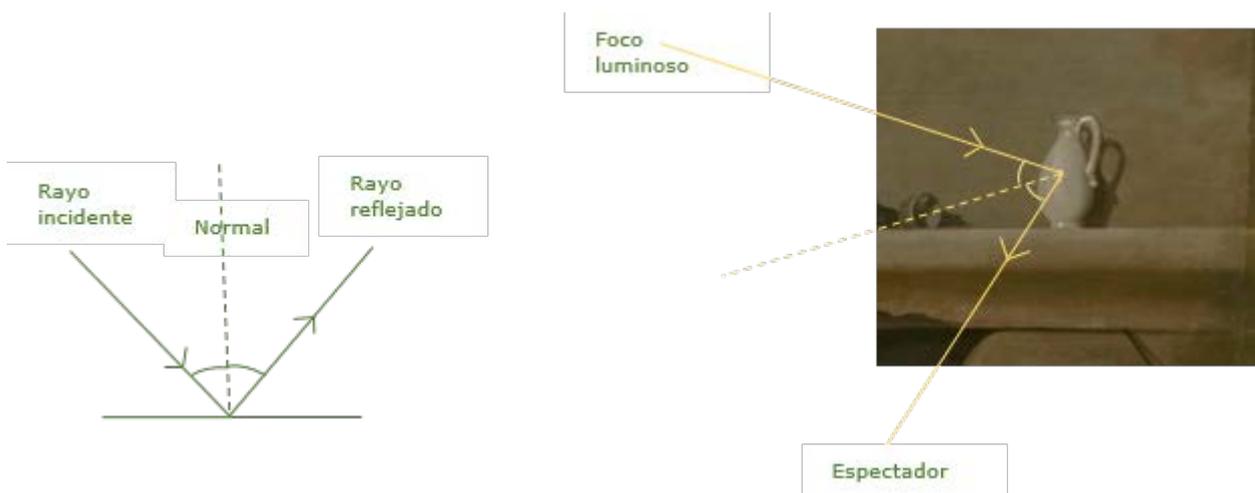


Fig 13. La reflexión de la luz

Cuando se ve un punto brillante en un objeto es porque la luz se ha reflejado en ese punto y llega hasta nuestros ojos. En este cuadro la luz llega a los puntos brillantes sobre los objetos y se refleja, llegando al espectador que observa.

Ubicación de la fuente de iluminación

Se eligen algunos puntos de iluminación extrema y se buscan los segmentos que unidos darán una posición aproximada del lugar por donde entra la luz en la fragua.



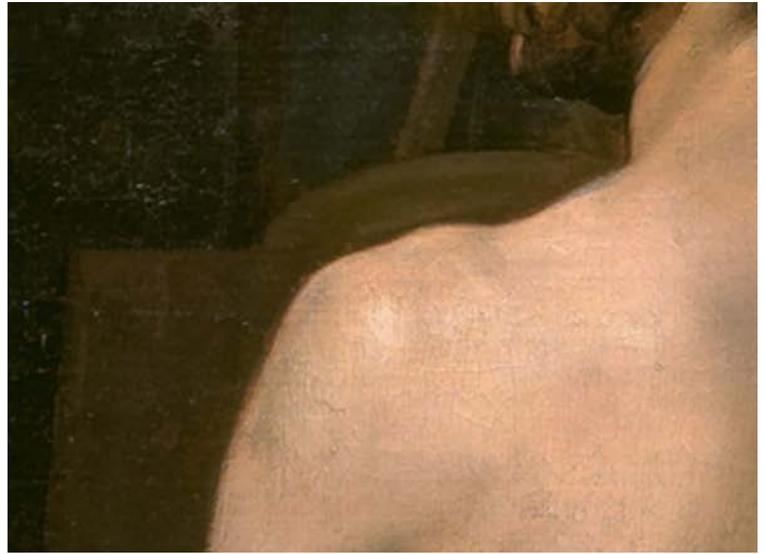


Fig 14. Puntos de referencia muy iluminados



Fig 15. Ubicación aproximada de la fuente de iluminación

e) ANALISIS DE PALANCAS EN LA FRAGUA DE VULCANO

Las palancas son máquinas simples que tienen tres elementos fundamentales:

Potencia (P): Fuerza que se realiza sobre la palanca.

Resistencia (R): Fuerza que hay que vencer.

Punto de apoyo (A): Punto fijo en la palanca.

Según la disposición de estos tres elementos las palancas se clasifican en tres géneros.

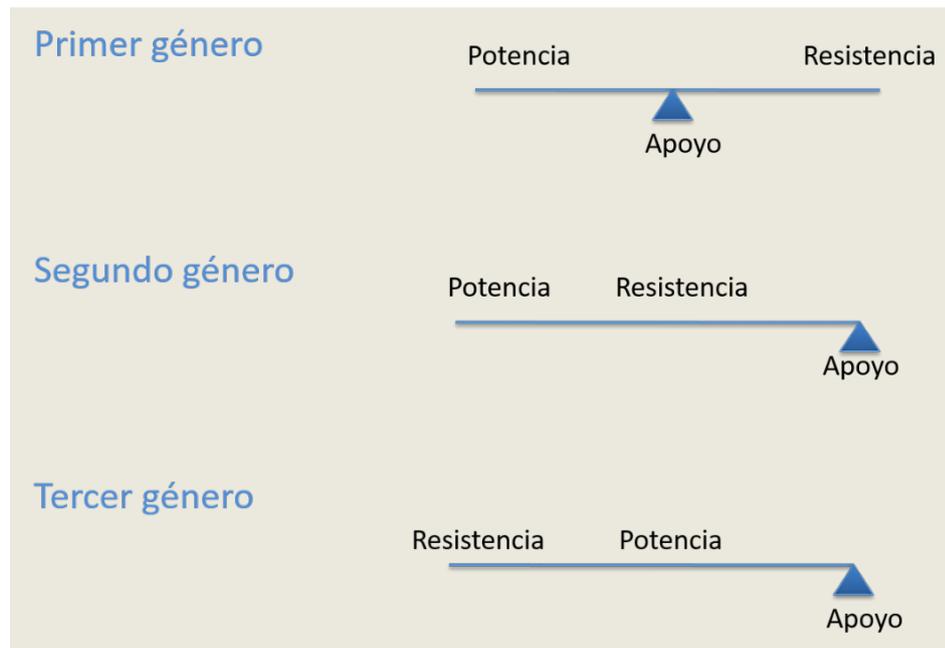


Fig 16. Tipos de palancas

La relación entre los tres elementos está recogida en la famosa ley de la palanca:

“La fuerza de potencia multiplicada por su distancia al punto de apoyo es igual a la fuerza de resistencia multiplicada por su distancia al punto de apoyo”.

En las palancas de primero y segundo género la resistencia está más cerca del punto de apoyo que la potencia por lo cual la fuerza de potencia debe ser menor que la de resistencia y se consigue ventaja mecánica. Este es el caso de unas tijeras o una carretilla respectivamente.

Sin embargo, en la palanca de tercer género ocurre lo contrario y la fuerza de potencia es mayor que la de resistencia. No hay ventaja mecánica, su utilidad consiste en dar velocidad a la resistencia. Este es el caso de un martillo, sería más fácil levantarlo si se agarrara por su parte más pesada pero lo que se pretende es comunicar a esta parte del martillo velocidad en la caída.

En la Fragua de Vulcano hay gran cantidad de palancas que los alumnos identifican y clasifican.



Fig 17. Tenazas. Palanca de primer género

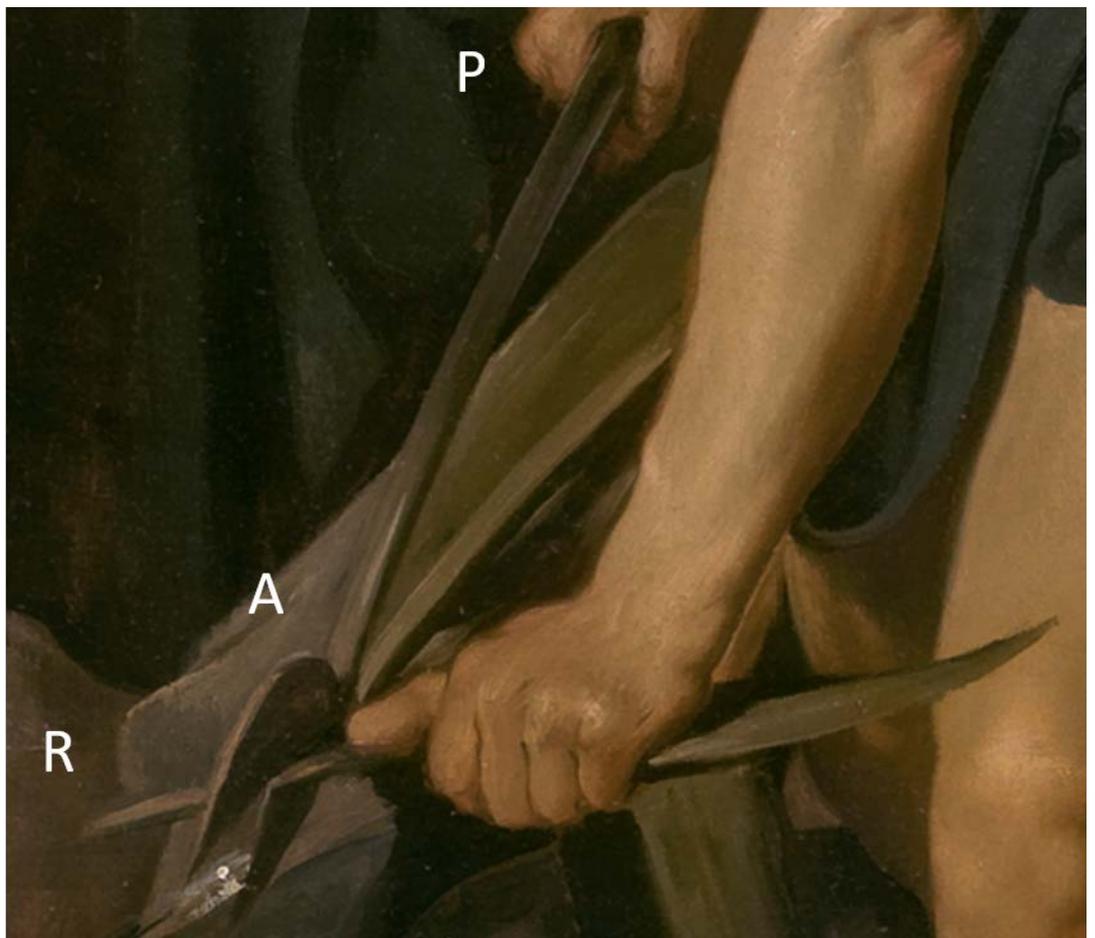


Fig 18. Tenazas. Palanca de primer género

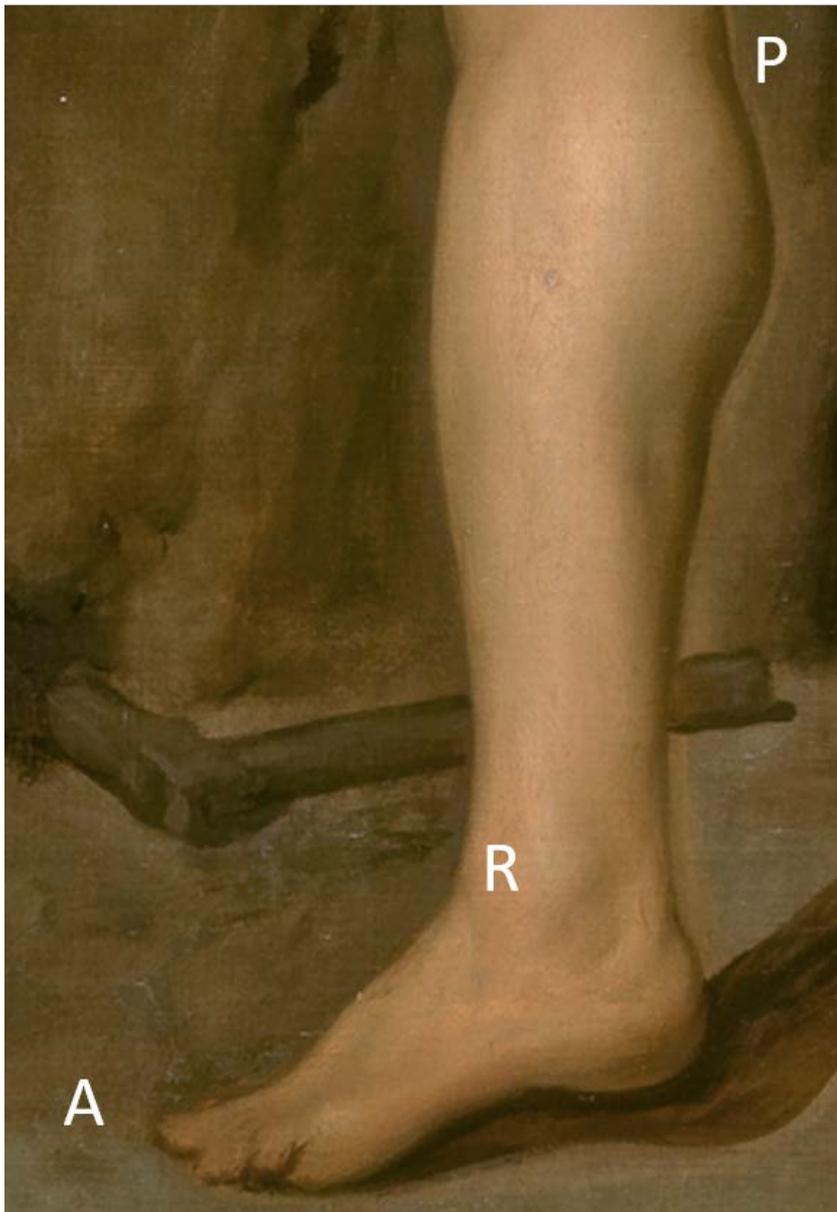


Fig 19. Articulación del tobillo. Palanca de segundo género.

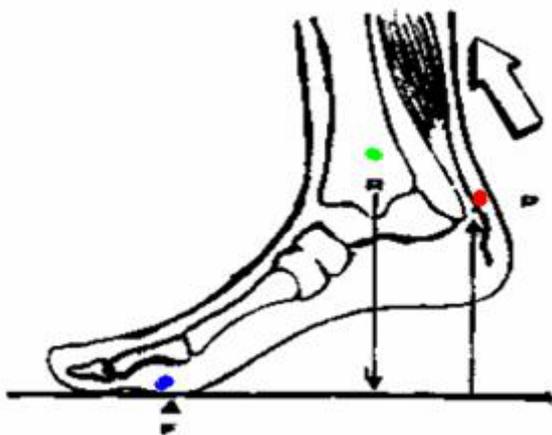


Fig. 20. La inserción del gemelo en el talón está detrás de la articulación que es donde está la resistencia¹⁴.

¹⁴ <http://aprendamosconmariluz.blogspot.com.es/2011/10/2.html>



Fig 21. Pinzas. Palanca de tercer género.



Fig. 22. Las pinzas deben sujetar a distancia algo que no puede ser sujetado con la mano directamente¹⁵

¹⁵ <https://sites.google.com/site/gabrielmecanismos/Home/parte-ii/8---palanca/8-1---ley-de-la-palanca>

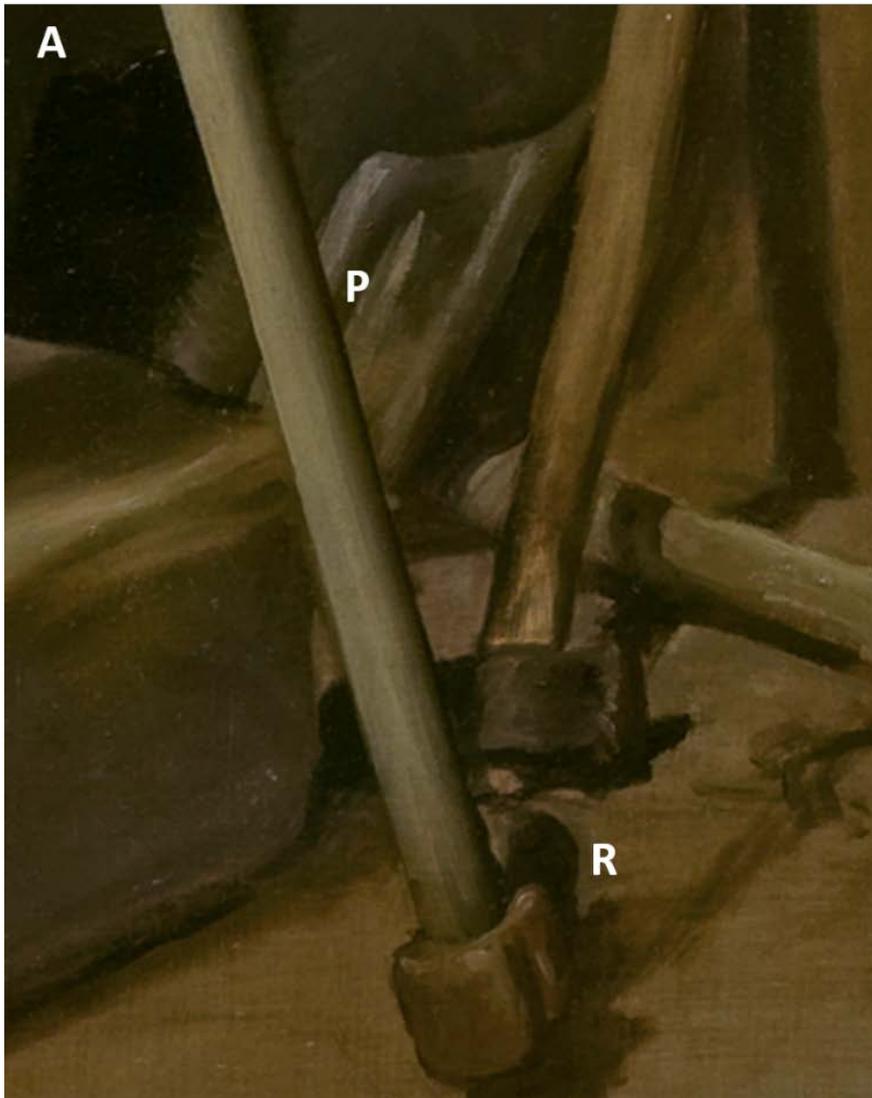


Fig 23. Mazos y matillos. Palancas de tercer género.

Son también palancas de tercer género la caña de pescar¹⁶, el imperdible y la pala de cavar.

¹⁶ http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/ejercicios/test_ope12.htm



Fig 24. Articulación del codo. Palanca de tercer género.

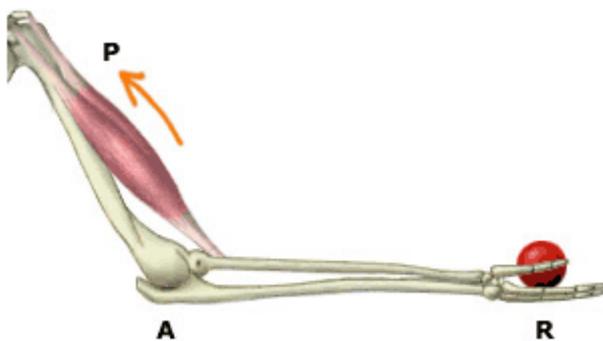


Fig 25. El Biceps braquial se inserta en el codo por delante de la articulación¹⁷

¹⁷ <http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/3ESO/locomotor/ampliapal3.htm>

f) ESTUDIO DE LOS PROCESOS QUÍMICOS QUE OCURREN EN UNA FRAGUA

Partes de una fragua

La fragua tiene tres elementos fundamentales y en cada una de ellas se produce una transformación química, física o ambas.

Hogar: Fuente de calor donde se calienta la pieza de hierro.

Yunque: Donde se golpea la pieza de hierro caliente sacada del fuego.

Baño frío: Se enfría la pieza una vez terminada.

Herramientas en la fragua

Tenazas: Para sostener el metal caliente.

Martillos: Para golpear el metal.

Metalurgia del hierro

Se conoce como metalurgia los procesos en los que se obtiene un metal puro a partir de sus minerales o compuestos químicos. En algunos metales estos procesos son conocidos desde la antigüedad e incluso han dado nombre a épocas históricas como la edad del bronce o la edad del hierro. En los procesos metalúrgicos más básicos el mineral es calentado con carbón así el metal se reduce y resulta en estado libre como producto de la reacción.

En muchos casos, una vez que el metal ha sido obtenido hay que eliminar impurezas indeseables. Dependiendo del tipo de impurezas puede fundirse el metal y obtener el metal líquido más puro si por ejemplo las impurezas funden a temperaturas superiores. Este líquido puede dejarse enfriar sobre moldes y así obtener piezas metálicas con la forma deseada.

Ésta ha sido la forma tradicional de obtener muchos metales y en particular de obtener hierro. Sin embargo, el hierro así obtenido, denominado "*hierro colado o fundición*" es duro pero frágil y quebradizo y solo puede utilizarse en piezas que no vayan a estar sometidas a esfuerzos. El hierro se endurecía posteriormente en la fragua convirtiéndose en acero. Esto no ocurre con otros metales que salen ya de la fundición aptos para ser utilizados.

El hierro es uno de los siete metales conocidos desde tiempos muy remotos. Su símbolo era el escudo y la lanza de Marte, el dios de la guerra.

"La metalurgia fue más que una técnica un arte sagrado encomendado a los sacerdotes. Los metales obtenidos del interior de la Tierra concebida como un dios, fueron relacionados con el Sol y los planetas: el oro al Sol, la plata a la Luna, el cobre a Venus, el hierro a Marte, el estaño a Júpiter, el plomo a Saturno y el mercurio a Mercurio. Los antiguos veían en el número siete una manifestación de carácter universal, y así

conocían siete planetas, siete metales, siete dioses, la hidra de siete cabezas, las siete bocas del Nilo, las siete estrellas del carro de David, los siete días de la semana identificados con los astros, etc. Si aún hoy consideramos sin base científica los siete colores del arco iris lo debemos a esta concepción de los antiguos. Esta extraña singular clasificación de los metales se mantuvo durante siglos, y aunque nuevos metales fueron conocidos se consideraban necesariamente como uno de ellos. Incluso en el siglo XVI se aceptaba que había muchas clases de oro, como las había de peras y manzanas. "Los siete metales junto con el carbón y el azufre eran los elementos conocidos al principio de la Era cristiana"¹⁸

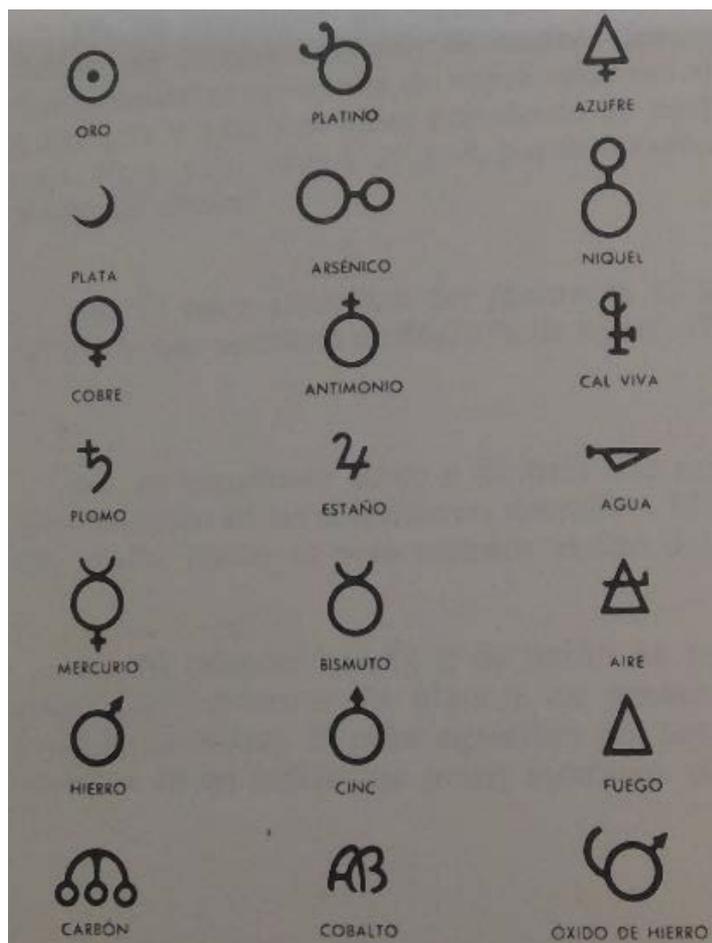


fig. 26. Símbolos alquimistas¹⁹. Perduraron hasta que Jhon Dalton en el siglo XVIII propuso nuevos símbolos mezclando círculos y letras

"El hierro es el metal más utilizado de la corteza terrestre. Hace unos 3000 años que se obtuvo por primera vez en la India un tipo de acero llamado *wootz*, acero que se hizo muy famoso en la antigüedad como acero de Damasco, apreciado para hacer espadas por su flexibilidad y su capacidad de mantener la hoja afilada".²⁰

En la actualidad hay otros métodos de obtener acero y se fabrican una gran variedad de aceros en función de la utilidad de los mismos.

¹⁸ J.A. BABOR, J. IBARZ, Química general moderna, Barcelona, eds. Marin, S.A. 1972. pp. 7,8.

¹⁹ J.A. BABOR, J. IBARZ, Química general moderna, Barcelona, eds. Marin, S.A. 1972. pp. 110

²⁰ R.A. PETRUCCI, Química General, Volumen II. Madrid , eds. Pearson education, S. A., 2003, pp.955, 962

Finalidad de una fragua

En la fragua se produce "el forjado y templado del hierro". Este proceso consiste en mezclarlo con carbono lo que proporciona dureza al metal y le hace perder su fragilidad, realizándose un proceso de transformación:

- Química en el hogar
- Física y química en el yunque
- Física en el baño

Química en el hogar de la fragua

El hierro puro tiene estructura cristalina correspondiente a la forma cúbica centrada en el interior, CCI, hasta temperaturas aproximadas a 800 o 900°C, hierro α . A esta temperatura se transforma a otra estructura cristalina, forma cúbica centrada en las caras, CCC, hierro γ .

Esta nueva estructura es más densa pero los huecos intersticiales que deja son mayores y los átomos de carbono caben muy bien en el interior de las celdas sin distorsionar la red del hierro.

El radio atómico del hierro es $1,72 \text{ \AA}$ ($1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$) y el del carbono $0,91 \text{ \AA}$. La relación entre ellos es 0,5, siendo este valor similar a 0,414 que es la relación estándar para los átomos que pueden ocupar los huecos octaédricos en la estructura CCC. En la estructura CCI esta relación es solo 0,291 y los átomos de carbono no caben bien sin distorsionar la red cristalina del hierro²¹.

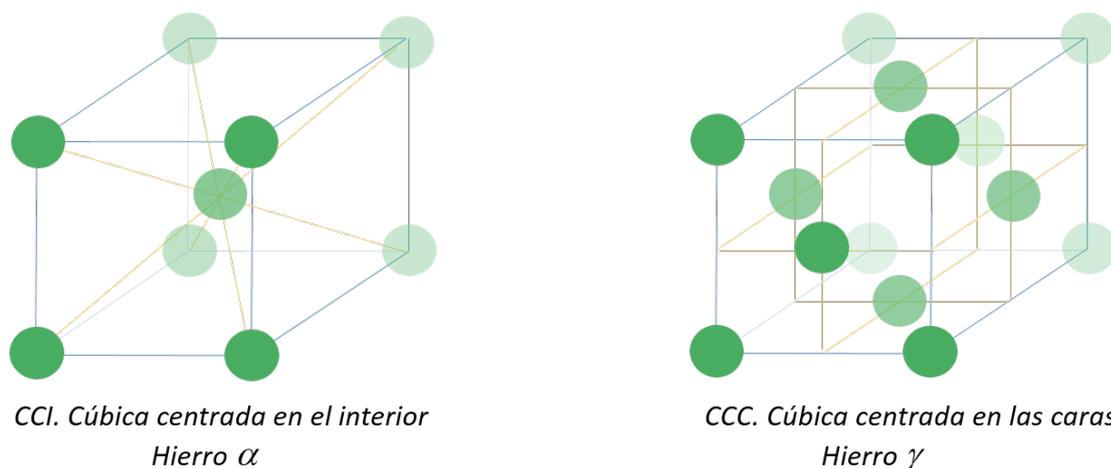


Fig 26. Estructuras cristalinas del hierro.

²¹ http://www.mim-us.es/estructuras_cristalinas/cristales_metalicos.html

En las ascuas del carbón que arde en el hogar de una fragua, el hierro alcanza altas temperaturas y modifica su estructura cristalina. Ahora puede absorber átomos de carbono en los huecos de su estructura CCC. Aproximadamente se llenan el 2% de los huecos octaédricos y así resultan aceros cuyo contenido en carbono es menor del 2% en átomos.

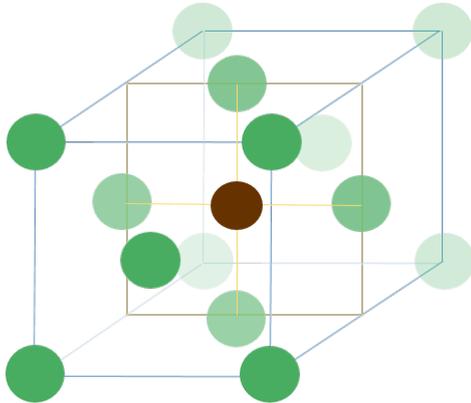


Fig 27. Átomo de carbono en la celda de hierro.

Los colores del hierro son un indicador de la temperatura que ha alcanzado el metal y, por lo tanto, de la capacidad del hierro de absorber átomos de carbono. El buen herrero conoce estos colores y extrae la pieza de hierro de la fragua cuando observa el color deseado. Además, el herrero mueve con destreza la pieza de hierro en el interior de las ascuas para que la absorción del carbono sea uniforme. Cuando lo considera adecuado saca la pieza de hierro del hogar y lo lleva al yunque.



Fig 28. Colores del hierro



Fig 29. Hogar

Física y química en el yunque

En el yunque la pieza de acero se somete al proceso de forja. Este proceso necesita presión y en la fragua se realiza martilleando con energía. En el yunque el herrero consigue tres finalidades:

- Los átomos de carbono se reparten uniformemente entre los huecos consiguiendo que las propiedades mecánicas sean uniformes.
- Se modela la pieza dándole la forma deseada
- Se comprueba que el hierro ha perdido fragilidad y ha adquirido nuevas propiedades mecánicas.



Fig 30. El yunque

Si el herrero considera que la pieza no ha obtenido las propiedades adecuadas introducirá de nuevo la pieza en el hogar hasta conseguir el resultado correcto.

Física en el baño frío

Este elemento no aparece en el cuadro de Velázquez, aunque no debe estar lejos del yunque.

Cuando el forjado ha acabado la pieza debe ser enfriada rápidamente para que no pierda su forma y para consolidar la estructura cristalina con el carbono alojado en sus huecos. Esta etapa se conoce como templado. Si el enfriamiento es lento el hierro cambiará su estructura de nuevo a hierro α .

La absorción del carbono estabiliza la estructura CCC a bajas temperaturas.

El baño puede ser de agua o mejor de aceite ya que el agua puede oxidar el metal caliente creando puntos quebradizos de óxido de hierro.

Vulcano: Un gran herrero

El secreto de un buen acero está en las manos del herrero o forjador.

El forjador debe mover adecuadamente la pieza dentro de las ascuas para asegurar una absorción homogénea, debe conocer los diferentes colores del hierro para saber qué temperatura ha alcanzado y cómo puede golpearlo y debe enfriarlo de forma que no se formen fisuras.

En el cuadro de Velázquez está claro que es Vulcano el que está trabajando la armadura y los cíclopes le ayudan. La armadura que están fabricando es muy importante y solo puede ser tratada por el maestro.

6. Visita de los alumnos al museo del Prado

Máquinas simples en los cuadros del museo del Prado.

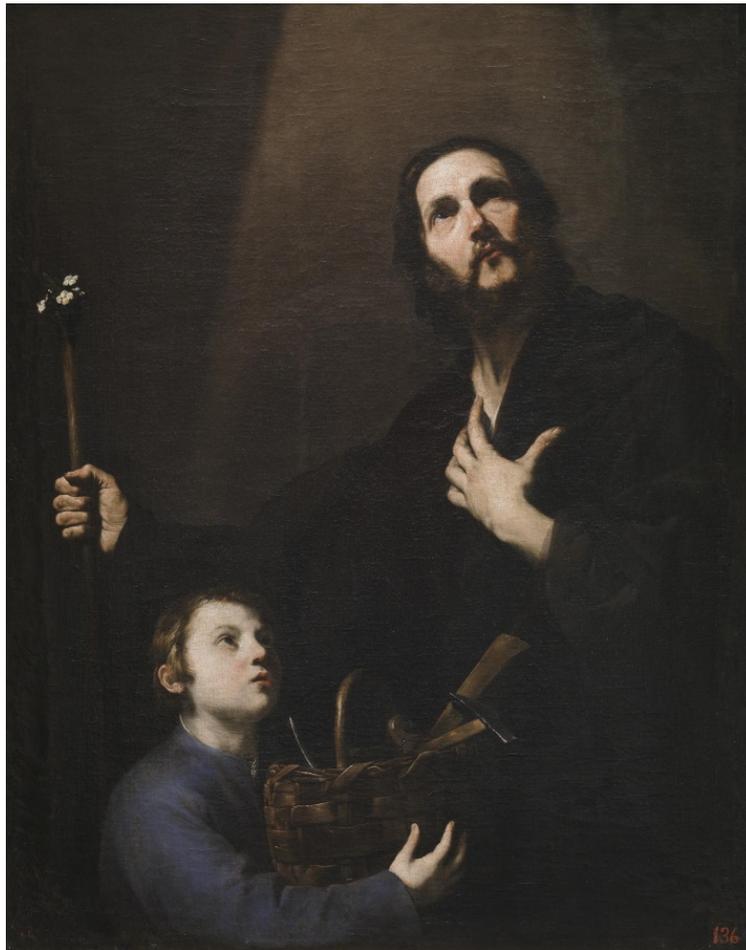
Los alumnos de 3ºESO después de ver el cuadro "La fragua de Vulcano" han visitado el museo en grupos de tres. A cada grupo le han sido asignadas dos salas en las cuales deben buscar cuadros en los que aparezca algún tipo de máquina simple: poleas, palancas, rampas o tornos.

Ésta es una muestra de los cuadros interesantes desde este punto de vista y que han sido encontrados por los alumnos.

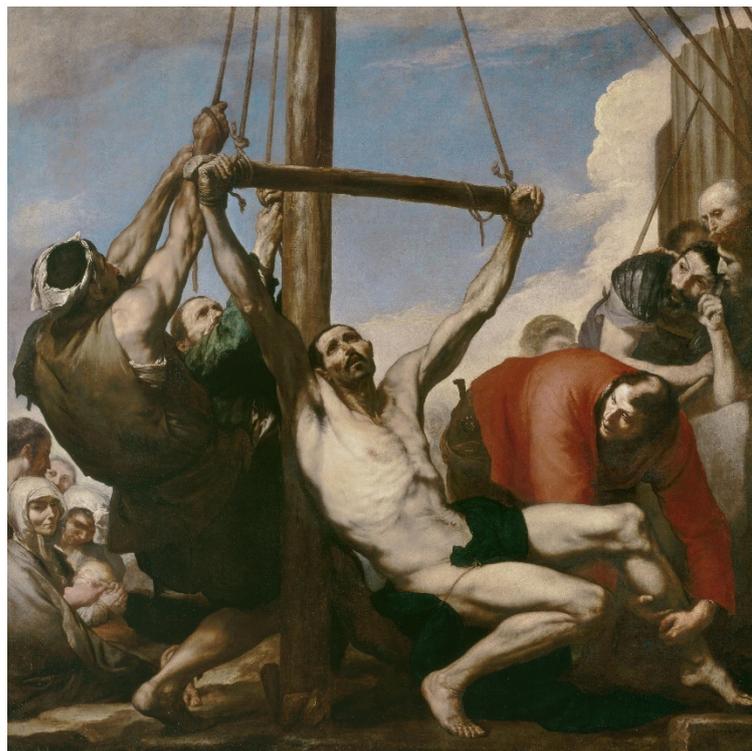
La industria. GOYA. (Rueca)



San José y el Niño Jesús. José de RIBERA. (Martillo)



El martirio de San Felipe. José de RIBERA. (Se suponen las poleas)



El bufón llamado Don Juan de Austria. VELÁZQUEZ. (Fuelle)



Cacería en el castillo de Torgau en honor de Carlos V. Lucas CRANACH el viejo. (Ballestas, arcos, espadas, cuernos de los ciervos)



El descendimiento. Rogier VAN DER WEIDEN. (Tenazas para quitar clavos)



Las hilanderas o la fábula de Aracne. VELÁZQUEZ. (Rueca)



Ascensión de un globo Montgolfier en Aranjuez. Antonio CARNICERO. (Poleas en las cuerdas)



Ciego tocando la zanfonía. Georges de LA TOUR. (Teclas de la zanfonía)



El milagro del pozo. Alonso CANO. (Polea, herramienta)



La era, o El Verano. GOYA. (Orcas y rastrillos)



Relación de otras obras del museo del Prado en las que se pueden ver máquinas simples. Todas ellas se pueden ver en la colección on-line del museo.

El triunfo de la muerte. JAN BRUEGUEL EL VIEJO

Paisaje con ferrerías. LUCAS VAN VALCKENBORCH

Cristo clavado en la cruz. VICENZO CAMPI

El lavatorio. JACOPO ROBUSTI TINTORETTO

Filopómenes descubierto. PEDRO PABLO RUBENS; FRANS SNYDERS

Vulcano forjando los rayos de Júpiter. PEDRO PABLO RUBENS

El tacto. PEDRO PABLO RUBENS; JAN BRUEGUEL EL VIEJO

Los leñadores. FRANCISCO DE GOYA Y LUCIENTES

Cuadros donde aparecen remos. Los remos son palancas de segundo género

El vendedor de claveles. FRANCISCO BAYEU Y SUBÍAS

Merienda en el campo. FRANCISCO BAYEU Y SUBÍAS

La marquesa de Villafranca pintando a su marido. FRANCISCO DE GOYA Y LUCIENTES.
El pincel actúa como palanca de primer género.

BIBLIOGRAFÍA

Jonathan Brown (1986). *Velázquez pintor y cortesano* Eds. Alianza Ediptrial, S.A.

J.R. Buendía y otros (1994).. *El Prado. Colecciones de pintura*. Ed. Lunwerg editores, S.A.

Gran enciclopedia Larousse (1997). Editorial Planeta, S.A.

José Camón Aznar (1964). *Velázquez*. Ed. Espasa-Calpe, S.A.

Museo del Prado (1990). *Velázquez*. Ministerio de Cultura.

José Antonio Maravall (1960). *Velázquez y el espíritu de la modernidad*. Ed. Centro de estudios constitucionales.

Ángel del Campo Francés (1989). *La magia de las meninas*. A-Z. Ediciones y publicaciones.

Museo del Prado, varios autores. *Guía del Prado* (2009).

A. Sánchez Iglesias, A. Sanmartín Torres. *Física 2º Bachillerato*. Ed. Laberinto, S.L.

R.A. PETRUCCI, (2003). *Química General, Volumen II*. Madrid, eds. Pearson educación, S. A.

J.A. BABOR, J. IBARZ, *Química general moderna*, Barcelona, eds. Marin, S.A. 1972.

RECURSOS WEB

Galería online de museo del Prado

Web del museo Galileo de Florencia

<http://www.rtve.es/alacarta/videos/mirar-un-cuadro/mirar-cuadro-fragua-vulcano-velazquez/1897590>

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/084/htm/sec_5.htm

<http://institucional.us.es/revistas/arte/21/22%20gonzalez%20estevez.pdf>

<http://www.epapontevedra.com/arte/Comentarios2/La%20fragua%20de%20Vulcano.htm>

<https://www.museodelprado.es/aprende/enciclopedia/voz/coleccion-de-manuel-de-fonseca-y-zuiga-vi-conde/cdd2d642-1060-4c8b-9aba-e98b78fbad18>

<http://www.artehistoria.com/v2/contextos/7891.htm>

<https://restaurandolalengua.wordpress.com/2013/05/30/kepler-y-galileo-rivales-en-la-defensa-del-copernicanismo/>

<http://instintologico.com/grandes-inventos-y-descubrimientos-ii-telescopio-de-galileo-ver-mas-y-mas-lejos/>