

# CIENCIA Y ARTE EN EL PRADO

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

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, todavía pervive en la sociedad y en la educación, una dicotomía entre el mundo de la Ciencia y el del Arte. En los planes de estudio actuales, los alumnos que eligen la vía científica-tecnológica pierden el contacto con el mundo del Arte, lo que propicia una falta de conocimiento en esta parte importante de su educación. La formación del estudiante, debe lograr la realización intelectual completa, para que sea capaz de observar y comprender la naturaleza y sus transformaciones, a la vez que de conmoverse ante la belleza. Disfrutar del Arte junto a la Ciencia enriquece la percepción del mundo, integra a los estudiantes en una realidad cultural más amplia y contribuye a encontrar un lenguaje común entre ambas disciplinas.

Gracias a la pluralidad de la mirada y a través de la observación, (no es lo mismo ver que mirar) los cuadros se enriquecen, cobran nuevos valores y emociones, renacen y se cargan de más sentido. Como decía Alejandro Dumas *“Quién lee, sabe mucho; pero quién observa, sabe todavía más”*. Mediante el placer visual y la contemplación de las obras de arte expuestas en el Museo del Prado, se puede alcanzar una comprensión más profunda de la naturaleza, una visión más amplia de la ciencia, de la historia y del propio hombre. Y es que disfrutar del Arte junto de la Ciencia enriquece la percepción del mundo e integra a las personas en la realidad cultural de la sociedad. La enseñanza de cualquier disciplina debe contener ilusión, imaginación y belleza.

Para superar esta fractura epistemológica, se propone una nueva visión didáctica: descubrir la ciencia que se esconde en algunas de las principales obras del Barroco Español, con la finalidad de generar nuevos materiales didácticos con los que convertir la visita al museo en una actividad extraescolar para los departamentos de Física y Química (o de Tecnología e incluso de Ciencias Naturales) de colegios e institutos.

## TEMÁTICAS

*“Aprender a ver es el más largo aprendizaje  
de todas las Artes y Ciencias”*

*(Edmon L. Goncourt)*

El siglo XVII no solo fue un periodo de gran esplendor para la pintura española, sino también para la ciencia. En esta época vivieron algunos de los científicos más grandes de todos los tiempos; Galileo Galilei (1564-1642), sentó las bases del movimiento aplicando el método científico y realizó grandes descubrimientos con su telescopio; Johannes Kepler (1571-1630), enunció sus famosas tres leyes que rigen el movimiento de los planetas alrededor del Sol; Isaac Newton (1642-1722) estableció las leyes de la mecánica clásica, enunció la teoría de la gravitación universal y realizó grandes descubrimientos sobre la naturaleza de la luz y la óptica. Todos estos conocimientos, junto a otros de siglos posteriores, pueden servir para comprender mejor las obras de arte, mediante la incorporación de una perspectiva didáctica más abierta e integradora.

### 1. EL ARTE DEL FUEGO Y LA CIENCIA DE LA COMBUSTIÓN

*“El Arte es la firma de la civilización”*

*(Beverly Sills)*

El fuego llevó a la raza humana a la civilización actual. El hombre primitivo lo utilizó, entre otras cosas, en rituales, para calentarse, tratar los materiales, cocinar los alimentos y como fuente de luz. Durante siglos la humanidad no dispuso de más medios para iluminarse que de antorchas, velas y lámparas de aceite de oliva o de nuez.

El uso de las velas se ha venido utilizando por todo tipo de culturas y religiones durante miles de años, sin experimentar importantes modificaciones. En los siglos XVI y XVII eran la forma más común de iluminación doméstica y del interior de oficios.

Curiosamente, hoy en día, todavía se siguen utilizando, ya sea en ceremonias religiosas, como objetos decorativos, en celebraciones festivas o en situaciones de emergencia cuando “se va la luz”.

Las velas empleadas como fuente de luz (en candelabros) aparecen en la “*Degollación de San Juan Bautista y Banquete de Herodes*” (1630) pintado por Bartholomaus Strobel el Joven, y con carácter religioso, en la procesión de Nuestra Señora de Sablón, “*Fiestas del Ommegnack o Papagayo, en Bruselas*” (1616) de Denis Van Alsloot.

Dentro del Siglo de Oro, una representación con gran realismo de la llama de una vela se encuentra en el “*Descenso de la Virgen para premiar los escritos de San. Ildefonso*” (1660) de Bartolomé Esteban Murillo, donde se representa la escena milagrosa en que la Virgen se aparece al Santo para premiarle con una casulla como premio a su devoción. En el margen inferior izquierdo se muestra a una anciana portando una vela prestada por los ángeles, según la leyenda sagrada, pero que no quiere devolver para que la ilumine en el tránsito de la vida terrenal al reino de los cielos.

Murillo ha representado la llama con zonas de color bien diferenciadas, que están relacionadas con el grado de reacción con el oxígeno del aire.

- Zona externa: la combustión es completa porque hay más abundancia de aire, la temperatura es superior a los 1.000°C. Esta zona es apenas visible.
- Zona media o luminosa: la combustión es incompleta, formándose partículas de carbono sin quemar (hollín), que al estar incandescentes producen la luminosidad amarilla.
- Zona interna: la de menor temperatura, unos 600°C, situada alrededor de la mecha, es oscura y contiene vapores del combustible de la vela sin quemar.
- Zona exterior o azul: localizada en la base de la llama, en ella se queman los gases completa y rápidamente, debido a la corriente de aire que asciende. La abundancia del oxígeno en esta zona permite la combustión completa de los hidrocarburos, con formación de agua y dióxido de carbono. Esta zona es la de mayor temperatura, que llega a unos 1.400 °C.

En esta misma época, Fray Juan de Andrés Rizzi, en “*La Cena de San Benito*”, representa otra vela encendida en manos del santo, donde también se aprecian zonas de la llama bien diferenciadas, si bien, en este caso, el efecto de la luz que emiten las partículas de carbono incandescente sobre los rostros de los dos personajes, está mucho más acentuado que en el cuadro de Murillo, casi anulado por la presencia de luz divina

Pero ¿por qué arde una vela? Al encender una vela, se comunica un calor que origina un aumento de temperatura suficiente para fundir el combustible de la vela y mojar la mecha. La sustancia fundida emite vapores que se mezclan con el aire. Al alcanzar la temperatura de ignición se inflaman y comienza la reacción química entre la cera de la vela y el aire, que produce calor, dióxido de carbono y vapor de agua. Los gases



calientes ascienden según el Principio de Arquímedes, y son reemplazados por el aire frío que llega desde abajo.. Al calentarse los gases no se queman totalmente, por eso se forman partículas de carbono que, al calentarse hasta la incandescencia, producen la parte amarilla y luminosa de la llama.

El uso de las velas de sebo se generalizó a partir del siglo XV, estando las velas de cera reservadas para la Iglesia, los palacios y las casas señoriales. Las velas de cera de abeja son de mayor calidad pero también de mayor coste, por eso actualmente se elaboran con una sustancia procedente de la destilación del petróleo llamada parafina.

Otra fuente de iluminación artificial, utilizada durante siglos, fueron las lámparas de aceite de oliva o nuez. Las lámparas de aceite eran ya de uso común en el siglo V a.C, estaban hechas con terracota, latón, bronce o hierro, y disponían de una salida para la mecha de origen vegetal. El uso de la lámpara de aceite se inicia en la prehistoria por lo que se han usado durante miles de años hasta hace pocas generaciones. Están formadas por un recipiente sencillo que contiene un combustible y una mecha, para producir la luz de forma continua por un periodo de tiempo. Las lámparas de aceite de oliva se utilizaron a lo largo del mediterráneo hasta el siglo XIX, en que fueron sustituidas por el queroseno alrededor de 1850.

En la obra de Francisco Ribalta, “*San Francisco confortado por un ángel músico*” (1620) , aparece en un segundo plano y sumergido en la oscuridad un personaje que porta un candil iluminado en la mano derecha. Dentro del mismo cuadro, se puede observar otra pequeña lámpara de aceite en la mesilla del santo para iluminarse y poder leer en su celda. La luz de la lámpara de aceite es más brillante que la de la vela, son mucho más seguras que otras opciones de iluminación mediante combustión, ya que si se vuelcan, dejan de arder, puesto que el aceite no es una materia muy inflamable. Las lámparas de aceite arden uniformemente, proporcionando una medida aproximada del tiempo y sirviendo como reloj, al igual que se hacía con las velas

A partir de estas y otras imágenes, podemos llegar a la conclusión de que la reacción química más empleada a lo largo de la historia es la combustión de la materia orgánica, caracterizada por la presencia del fuego, junto a la emisión de luz, calor y humo. En general, para la obtención del fuego es necesaria la actuación de tres factores simultáneos:

- Combustible: es la sustancia química (sólida, líquida o gas) que se oxida y arde.
- Comburente: sustancia en cuya presencia el combustible puede arder. El oxígeno es el comburente presente en el aire (21%) que posibilita las combustiones

- Energía de activación: necesaria para que la reacción se inicie, normalmente se proporciona en forma de calor.

Este triángulo puede observarse simbólicamente en la “*Fábula del Soplón*” (hacia 1580) de El Greco, donde un joven trata de encender una vela avivando el fuego de una ascua. La tesis del experto B. Cossío (1908) relaciona esta fábula con el proverbio español “*El hombre es fuego, la mujer estopa, viene el diablo y sopla*”. Visto desde el punto de vista de la química, la estopa representa al combustible, el soplido al comburente que aporta oxígeno, y el tercer factor para que se inicie el fuego, la energía de activación, proporcionado por el calor de otra llama o de una chispa.

## **2. EL ARTE DE LA FRAGUA Y LA CIENCIA DE LOS MATERIALES**

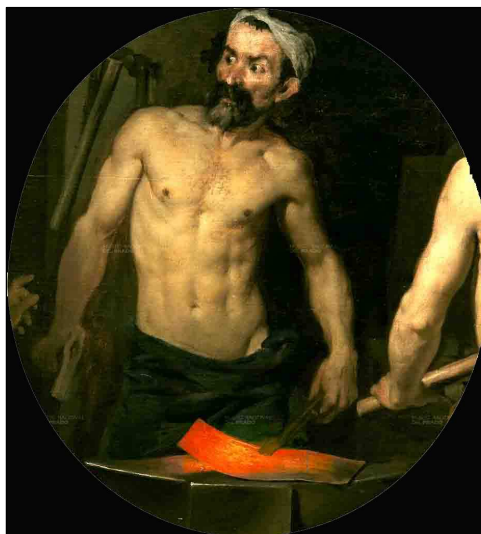
***“El uso de distintos materiales ha marcado el progreso de la humanidad”***

**(Carlos E. Rangel)**

La ciencia y la tecnología han crecido entrelazadas, han sido, son y serán de vital importancia en el desarrollo de la sociedad. En un principio, se puede decir que fue primera la tecnología, al emplearse los recursos de la naturaleza, sin una comprensión adecuada de las leyes que la rigen. Los primitivos sólo utilizaban materiales fáciles de manipular, cortar, afilar, como los huesos, piedras y madera. El uso de los metales supuso un gran avance en la civilización, al ser resistentes, transformables en objetos cortantes y punzantes, y no alterables con el tiempo.

La fragua es uno de los primeros métodos con los que se trabajó el metal. Hasta hace pocas décadas, en casi todos los pueblos, había una fragua, porque el trabajo de los herreros era de gran importancia. El trabajo en la fragua consistía en calentar el metal al rojo vivo en un hogar abierto construido con materiales refractarios, para después golpear el hierro candente sobre un yunque con el fin de darle forma a golpe de martillo.

En todas las pinturas que representan una fragua aparece un prisma de hierro acerado (yunque) encajado en un tronco de madera



sobre el que el herrero trabaja los metales mediante una tenaza a golpe de martillo (mazo grande llamado macho). Debido a las propiedades mecánicas de los metales, puede resistir los golpes e impactos sin romperse (tenacidad), puede soportar esfuerzos de compresión para formar láminas (maleabilidad) y esfuerzos de tracción para formar hilos (ductilidad).

El Prado posee dos excelentes representaciones de fraguas, en las que se muestra como tratan el hierro, una de ellas "*La Fragua de Vulcano*" (1630) de Diego Rodríguez de Silva y Velazquez, y otra anterior a esta época, la de Jacopo Bassano (1585). En la primera se puede observar el metal incandescente que está sujetando y trabajando Vulcano, Dios del Fuego y protector de los herreros, esta imagen permite analizar la relación entre la temperatura a la que se encuentra un cuerpo (metal) con la energía irradiada y la longitud de onda emitida.

Mediante un sencillo experimento, podemos comprobar la relación entre ambas magnitudes. Si sujetamos un clavo de hierro con unos alicates y lo acercamos a la llama de un mechero, se observa como el metal va tomando diferentes tonalidades. El clavo empieza por un color gris, y luego va tomando tonalidad rojiza hasta un color casi amarillo.

Para comprender este fenómeno se recurre a un modelo físico llamado cuerpo negro (el que absorbe y emite todas las radiaciones que le llegan). Aunque el clavo no es propiamente un cuerpo negro, su comportamiento se aproxima. Las leyes físicas que relacionan la emisión de energía con la temperatura del cuerpo negro son dos:

- La ley de Stefan-Boltzmann, enunciada por los austriacos Josef Stefan (1895-1893) y Ludwig Boltzmann (1844-1906), según la cual la energía irradiada por un cuerpo negro es proporcional a la temperatura a la que se encuentra elevada a la cuarta potencia. Esto significa que un pequeño aumento de la temperatura se traduce en un considerable aumento de su brillo:

$$M = \sigma \cdot T^4$$

M (excitancia) es el poder emisivo por unidad de área del cuerpo negro,  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ) y T es la temperatura absoluta

- La ley de Wien, enunciada por el físico alemán y premio Nobel en 1911 por Wilhelm Wien (1864-1928), afirma que el producto de la longitud de onda a la que se irradia la máxima energía multiplicada por la temperatura absoluta es constante.

$$\lambda_m \cdot T = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}.$$

A partir de esta ley se ha podido determinar la que la temperatura de la corona solar es de unos 7.000°C.

El hierro, a temperatura ambiente, emite radiación infrarroja, como se puede detectar mediante una cámara de visión infrarroja, pero nuestros ojos no son capaces de percibirla, por lo que observamos su color característico (gris oscuro), pero conforme se calienta, la longitud de onda emitida se aproxima a la zona del espectro visible, por el lado del color rojo, y el hierro adquiere una tonalidad anaranjada, como corresponde a ondas más cortas, conforme a la ley de Wien: al aumentar la temperatura, la longitud de onda emitida se va haciendo más corta.

Como consecuencia, midiendo la frecuencia o la longitud de onda emitida, es posible medir temperaturas sin contacto directo. Durante muchos siglos los metalúrgicos y los herreros aprendieron empíricamente, a calcular las temperaturas de los metales que forjaban a partir del color del metal con bastante exactitud. Algunos procesos para forjar espadas requerían de una tolerancia de pocos grados, que los forjadores eran capaces de determinar mediante el color del acero. Con los medios de los que disponían y forzando la introducción de aire mediante un fuelle, no podían obtener valores muy elevados de temperatura ni, como consecuencia, observarse colores más allá del rojo cereza.

En la segunda mitad del siglo XVIII, durante la revolución industrial, es cuando realmente el hierro y los metales adquieren una gran importancia, que ha perdurado hasta nuestro siglo.

Uno de los materiales más importantes a lo largo de la historia, es la pólvora. Su origen se remonta al siglo IX en China, con diferentes aplicaciones. En Europa, la pólvora se empleó por primera vez en la conquista del reino musulmán por Alfonso X de Castilla (1.262). La pólvora sustituyó a los ingenios que se utilizaban hasta entonces para la demolición de las defensas enemigas. El arte de la guerra basado en el enfrentamiento de caballeros armados con lanza y espada, y protegidos con casco y armadura, dejó paso, entre los siglos XV y XVI, al choque de grandes ejércitos cuyos cuerpos más importantes eran la infantería y la artillería, dotados de arcabuces y cañones de bronce, y no la caballería como ocurría hasta entonces.

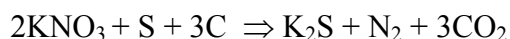
Una buena muestra de arcabuces se encuentra en los retratos de tipo cinegético realizados por Diego de Silva y Velásquez, ya que la caza era considerada una actividad imprescindible en la formación de los monarcas y nobles: “*Felipe IV en traje de cazador*” (1635), “*El cardenal infante Fernando de Austria*” (1633) y “*El príncipe Baltasar Carlos cazador*” (1635). La pólvora era la mezcla más común para impulsar los proyectiles de estas armas, pero antes debía comprimirse con una baqueta y para producir el disparo se encendía una mecha o se producía una chispa (pedernal, pirita).

Se necesitaba mucho tiempo para cargar la munición, como se muestra en el cuadro de Francisco de Goya y Lucientes “*Cazador cargando su escopeta*” (1775).

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

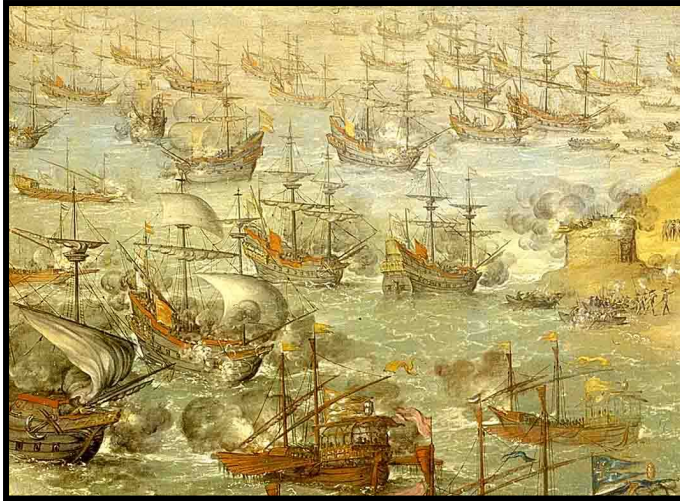
La composición de la pólvora, que prácticamente ha permanecido inalterada a lo largo de los siglos, esta constituida por 75% de nitrato de potasio, 15% de carbón vegetal y 10% de azufre (relación de 6:1:1 expresada en porcentaje en masa). Variando las proporciones de comburente y combustibles puede regularse la velocidad de la combustión. Si se aumenta la proporción de carbón, se obtiene una pólvora un poco más lenta en su combustión.

La pólvora así formada se inflama a la temperatura de 300°C, ardiendo rápidamente mediante una aportación moderada de energía (chispa o mecha encendida). Cada gramo de pólvora produce, al quemarse, 1360 Julios en forma de calor. La temperatura de los gases liberados (2500°C-3500°C) la sitúa en la categoría de las “deflagraciones”, combustiones en que la velocidad de la llama es menor que la velocidad del sonido. Solo explota si se la comprime fuertemente en un recipiente herméticamente cerrado debido a la violenta formación de gases calientes en expansión, según la reacción:



En el cuadro de Francisco de Zurbarán, “*Defensa de Cádiz frente a los ingleses*” (1634) se representa la acción bélica a cañonazos entre las flotas españolas e inglesa. Las balas de cañón eran proyectadas por la expansión de los gases originados en la combustión de la pólvora, impactando contra los barcos enemigos para de esta forma provocar incendios y abrir vías de agua, lo que culminaba en su posterior hundimiento.





De una manera casi abstracta, en el cuadro de Velázquez, *“El Bufón llamado Don Juan de Austria”* (1632), se representa la Batalla naval de Lepanto y el efecto destructivo de la pólvora y el fuego. En el mismo cuadro se aprecian diferentes pertrechos de guerra (municiones, armas, armaduras, etc)

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

### **3. EL ARTE DE OBSERVAR Y LA CIENCIA DE LA MEDIDA**

**“Cuando puedes medir aquello de lo que hablas,  
y expresarlo con números,  
sabes algo acerca de ello”**

**(William Thomson. 1824-1907)**

En esta cita del físico británico Lord Kelvin se recoge la importancia de la observación cuantitativa o medida en el conocimiento del mundo que nos rodea, cuando lo que analizamos no podemos expresarlo mediante números ni medirlo, nuestro conocimiento del medio es incompleto.

Nuestros sentidos son los primeros instrumentos de observación y medida que utilizamos. Sin embargo, pueden ser engañosos, por eso es necesario recurrir a instrumentos más precisos y fiables. La precisión y exactitud en la medida han ido siempre de la mano de la tecnología. La ciencia hace avanzar a la tecnología descubriendo las Leyes de la Naturaleza, y la tecnología hace adelantar a la ciencia al

producir nuevos instrumentos para uso de los científicos

Un instrumento cuyo empleo se remonta a los orígenes de la civilización humana, es la balanza de dos platos. Ya aparece representada en el Antiguo Egipto (Libro de los Muertos. S. XX a.C), comparando el peso del corazón de un difunto (símbolo de sus actos) con el de la pluma de una diosa (símbolo de la Justicia y Orden Universal)

Este tipo de balanza (“griega”, la romana tiene solo un plato) ha sido utilizada para representar simbólicamente a la justicia, ya sea divina o humana, la imparcialidad y la equidad. Este simbolismo establece una equivalencia entre dos objetos a partir de un instrumento de cálculo (la justicia), sugiriendo la búsqueda de un resultado equilibrado, cierto y exacto. Unas veces, a partir del siglo XVI, se ha representado junto a una mujer con los ojos tapados, otras, en la temprana edad media, de la mano de una mujer con una espada en la otra, como puede verse en una de las figuras del retablo “*Santo Domingo de Silos entronizado como obispo*” (1475), de Bartolomé Bermejo, representando a la justicia como una de las virtudes cardinales.

En otras situaciones, la balanza aparece como instrumento que representa una actividad artesana de un orfebre, como en “*San Eloy ente el Rey Clotario*” (1370) del Maestro de la Madonna della Misericordia, o una actividad financiera de recuento de monedas de plata y oro, como en “*El cambista y su mujer*” (1539) de Marinus van Reymerswaele, donde el banquero mide el peso de las monedas para comprobar si habían sido raspadas o recortadas, costumbre de esa época.

Otro caso bien distinto, es la balanza que aparece en “*La usurera*” (1638) de José de Ribera, sostenida por una vieja y pesando algún metal precioso, como se deduce del desequilibrio de ambos platos, simbolizando la avaricia.

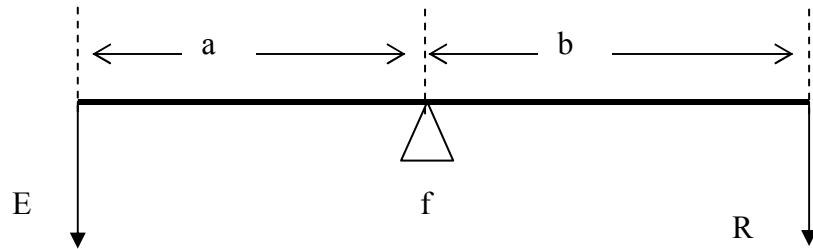
La balanza (del latín: *bis*, dos, *lanx*, plato) es un instrumento que se utiliza para medir o pesar masas. Básicamente, es una palanca de primer género con los brazos iguales y que a partir de una situación de equilibrio entre los pesos de dos cuerpos permite cuantificar masas. En este tipo de palanca el punto de apoyo (fulcro: *f*) se sitúa entre dos fuerzas: la fuerza resistente ( *R* ) y la fuerza motriz ( *E* ).



La balanza se basa en la Ley de la palanca o Ley de equilibrio de una barra rígida

apoyada en un punto (fulcro). Esta ley afirma que para conseguir que la barra esté en equilibrio, el producto de una fuerza (Peso E) por su distancia al fulcro (longitud a) tiene que ser igual al producto de la otra fuerza (Peso R) por su distancia respectiva al fulcro (longitud b). Matemáticamente se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Peso E(N)} \cdot \text{Longitud a(m)} = \text{Peso R(N)} \cdot \text{Longitud b(m)}$$



En el caso de la balanza, al ser las dos distancias al punto de apoyo iguales ( $L_a = L_b$ ) se deduce la igualdad de los pesos de los dos cuerpos (Peso de E = Peso de R), y como consecuencia, al ser el valor de la gravedad el mismo para ambos cuerpos ( $9,8\text{m/s}^2$ ), se llega a la igualdad de las masas:

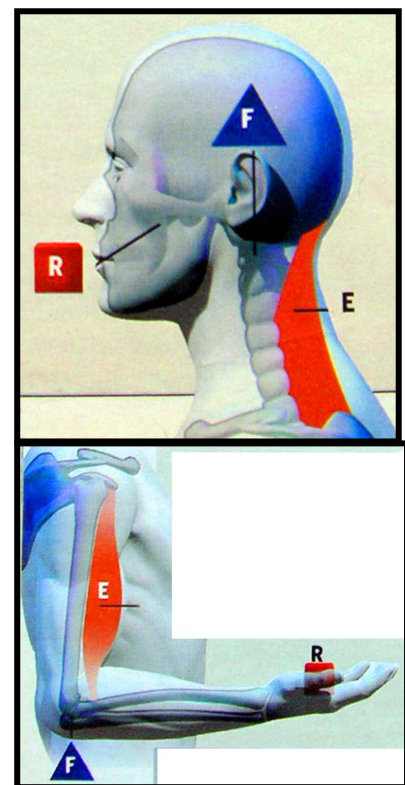
$$\text{Masa A} \cdot \text{gravedad} = \text{Masa B} \cdot \text{gravedad} \rightarrow \text{masa A} = \text{masa B.}$$

Por lo tanto, aunque se comparan pesos, se equilibran y miden masas. En este instrumento la medida no depende del valor de la aceleración de la gravedad, a diferencia de otros aparatos como los dinamómetros o básculas de muelles.

En el mismo cuadro de Ribera, podemos ver otras dos palancas, en las articulaciones de la usurera, hay que tener en cuenta que el cuerpo es una verdadera máquina y que funciona con palancas.

- Para mantener la cabeza erguida, la anciana necesita utilizar una palanca localizada en el cuello. Los músculos de la nuca realizan la fuerza E que contrarresta el peso del cráneo R, usando la columna vertebral como punto de apoyo F. Este tipo de palanca es de primer género.

- Para sujetar la balanza, la vieja flexiona el antebrazo sobre el brazo, la articulación del codo forma una palanca de tercer



género, responsable de la fuerza. El codo es el punto de apoyo F sobre el que el bíceps ejerce la fuerza E para vencer la resistencia R del antebrazo y la mano

Tuvo que pasar un siglo, para que este instrumento marcara en 1774 un gran acontecimiento científico de la mano de Antonie Laurent Lavoisier, precursor de la química moderna. El francés demostró experimentalmente con la balanza (conservada actualmente en el museo de las Artes y Medidas de Paris) la *Ley de Conservación de la Masa*, una de las leyes que marca el nacimiento de la química como ciencia experimental alejada de supersticiones y creencias ocultas procedentes de la alquimia. Dicha ley afirma que si tenemos en cuenta todas las sustancias que forman parte de una reacción química y todos los productos que se forman, la masa es la misma antes y después de reaccionar: nunca varía y permanece constante en todo el proceso.

Los alquimistas del siglo XVIII no prestaban atención al aspecto cuantitativo de sus experimentos. Mezclaban sustancias, observaban y describían las nuevas sustancias y gases formados, pero no los medían. No les preocupaba que esas sustancias ganasen o perdiesen peso durante sus transformaciones. Sin embargo, para este científico la medida era lo más importante y constituía la base de todos los experimentos químicos. Lavoisier también demostró que la respiración humana es un fenómeno de combustión, semejante a la del fuego, pero a velocidad lenta. Echó por tierra la teoría del *flogisto*, demostrando que cuando una sustancia se quema, lo que sucede es que se combina con una parte del aire. En una experiencia calcinó estaño en un vaso cerrado en presencia de aire y comprobó que el peso total del vaso era el mismo antes y después, mientras que el peso del estaño transformado en su cal, había experimentado un aumento igual a la disminución de peso del aire.

En los últimos años, las balanzas tradicionales han experimentado una gran evolución, siendo sustituidas por balanzas electrónicas más precisas y de lectura directa, convirtiéndose en un instrumento cotidiano presente en casi todos los hogares. Instrumento que hasta hace poco eran de uso exclusivo del trabajo de los químicos en los laboratorios de análisis.

Otro pequeño invento que sin embargo han incidido positivamente en la vida cotidiana tiene que ver con los correctores de la visión. En España más del 60% de la población utiliza alguno de estos sistemas (gafas o lentillas), que se consideran indispensables y que son una realidad gracias a la contribución de los inventores que lo hicieron posible.

A ciencia cierta no se sabe ni cuando ni como nacieron, si bien es conocido que desde principios de nuestra era se utilizaban lentes de cristal como lupas de aumento o para encender fuego. Se cree que en el siglo XIII era un objeto conocido en Europa y que en el S. XVI era un objeto de uso popular.

Las primeras gafas estaban formadas por dos lentes convexas (curvadas hacia el exterior), unidas por un puente, que solo servían para ver de cerca y corregir la vista cansada (presbicia). Su invención se atribuye al italiano Alessandro Della Spina en 1280. Las lentes cóncavas (curvadas hacia el interior) se utilizaban para corregir la miopía, se comenzaron a utilizar en el siglo XV.

Tuvieron que pasar varios siglos, hasta que Benjamín Franklin inventara las gafas bifocales en 1784, compuestas por segmentos de lentes distintas unidas por la montura. Otros inventos importantes, fueron las lentes para corregir astigmatismo, inventada por George Biddel Airy en el siglo XIX, y las lentillas, inventadas por Adof Eugen Frick, aunque hasta el siglo XX no se popularizó su uso.

Algunos ejemplos de lentes se observan en cuadros pertenecientes al siglo de oro: *“El Patricio revela su sueño al Papa Liberio”* (1663) de Esteban Murillo y *“San Buenventura recibe el hábito de San Francisco”* (1628), de Francisco Herrera el Viejo. Y en este mismo periodo, en la obra del pintor nacido en Lorena, Georges La Tour, *“San Jerónimo leyendo una carta”* (1628).

En todas estas imágenes, los portadores de lentes son personas mayores, debido a que con la edad el cristalino (encargado de enfocar las imágenes en la retina) se va endureciendo y perdiendo elasticidad, de manera que la capacidad de cambiar de forma se reduce progresivamente. Por esta razón, a partir de cierta edad, se perciben dificultades en tareas que exigen buena visión cercana, como es la lectura. Actividad a la que los monjes dedicaban muchas horas al día.

A Roger Bacon (1210-1292), científico y filósofo, se le atribuye el tallado de las primeras lentes (con forma de lenteja), escribió que la óptica, además de ser bella, es indispensable para el conocimiento de otras ciencias. Efectivamente, la óptica progresa cada vez más rápido lo que propicia el desarrollo de ciencias como la astrofísica o la medicina. Las operaciones quirúrgicas con rayos laser, más eficaces y menos agresivas que las de bisturí, corrigen los defectos visuales liberándonos del uso de las gafas.

En el mismo cuadro de Esteban Murillo, se puede observar otro instrumento que facilita la observación, en este caso cuantitativa, como es la medida del tiempo. Desde hace siglos, los filósofos y científicos se han preguntado que es realmente el tiempo. Un

sacerdote agustino del S. V d.C, decía que cuando me preguntan qué es el tiempo, sé lo que es, pero si lo quiero explicar, entonces no sé que es.

En el diccionario de la RAE se puede leer que el tiempo “*es una magnitud que permite medir la duración de las cosas*”. Sin embargo, una definición que se ajusta más a la realidad es que “*el tiempo es lo que miden los relojes*”. La teoría de la relatividad indica que cualquier medida del tiempo depende de las condiciones del observador, como por ejemplo, su velocidad relativa respecto a los sucesos que quiere medir. Por lo que de lo único que un observador puede estar seguro, es del tiempo que para él mide su propio reloj.

Uno de los adelantos más importantes en la historia de la medida del tiempo fue la introducción de relojes mecánicos con engranajes, que se encuentran a partir del S. XII en algunas torres de las iglesias. Utilizaban pesas como mecanismos de accionamiento, al descender hacían girar un cilindro conectado a un engranaje y a las manecillas.

Otro gran avance tuvo lugar en el siglo XVII, el físico y matemático Christian Huygens (1.629-1695), construyó el primer reloj de péndulo, basado en el descubrimiento del físico italiano Galileo Galilei (1.564-1.642): observó que un péndulo empleaba siempre el mismo tiempo para completar una oscilación completa. Lo que permitía fabricar péndulos que empleasen un segundo en el movimiento de ida y vuelta.

Los relojes han figurado durante siglos como piezas importantes en la decoración de salones de reyes y nobles, para lo cual se construían de diversas formas y tamaños.

Actualmente, los relojes más utilizados son los que emplean cristales de cuarzo que vibran regularmente en presencia de un campo eléctrico oscilante generado por una pila.

#### **4. EL ARTE DE LAS MÁQUINAS Y LA CIENCIA DE LA ENERGÍA**

***“El ser humano es un animal constructor de instrumentos”***

**(Benjamín Franklin)**

La evolución de la máquina va ligada a la de la especie humana, ya que los utensilios creados por el ser humano en la Edad de Piedra pueden considerarse como los precursores de las máquinas actuales. Sin máquinas el ser humano viviría en estado primitivo y no habría progresado

Hasta el siglo XIX, el 80% de la energía utilizada por el ser humano tenía origen animal (arrastre, carga, monta, etc.), en nuestro actual siglo, y en los países

desarrollados, apenas llega al 1%. Las modernas máquinas han significado la liberación del uso de trabajos físicos y permite que el ser humano tenga más disponibilidad en utilizar su capacidad intelectual en vez de su capacidad física

Pero realmente ¿qué es una máquina?, de una manera sencilla, todo aparato destinado a transformar los dos factores que influyen en el la magnitud física denominada trabajo: la fuerza y el espacio. Dicho de otra forma, dispositivos utilizados para cambiar la magnitud, dirección o sentido de una fuerza. Hay que tener presente que una máquina no puede violar el Principio de Conservación de la Energía, es decir, no puede nunca desarrollar más trabajo (producir más energía) que la energía que recibe. En el caso teórico (sin pérdidas por rozamiento) la energía entrante es igual a la energía saliente.

La utilidad de las máquinas simples, como la rueda y la palanca, no solo radica en que permita multiplicar la fuerza que se ejerce con los músculos, sino también en aplicarla de una forma más eficaz.

Para cuantificar en qué medida la fuerza aplicada se ha multiplicado se utiliza una magnitud, la ventaja mecánica teórica de la máquina, y se define como la relación entre la fuerza aplicada y la resistencia ofrecida por la carga sobre la que actúa la fuerza:

$$\text{Ventaja mecánica} = \text{Fuerza aplicada} / \text{Carga de resistencia}$$

Este cociente nunca puede ser mayor a la unidad, debido a las fuerzas de rozamiento que se oponen siempre al movimiento, aumentando el valor de la carga que se desea mover. Por esta misma razón, la ventaja teórica siempre es mayor que la real.

De la combinación de las máquinas simples se obtienen las complejas, que sirven para construir todo tipo de máquinas utilizadas en ingeniería, arquitectura, construcción, etc.

En el cuadro de Jacopo Bassano "*El Arca de Noe*" (1570) aparece un ejemplo de máquina simple, como es la rampa o plano inclinado, que utiliza Noe para que los animales puedan elevar su propio peso y acceder al arca de una forma más cómoda. El trabajo realizado es el mismo si elevamos nuestro peso verticalmente o a lo largo de un plano inclinado, pero cuanto menos inclinado sea el plano, menos esfuerzo debemos realizar, aunque lo tenemos que mantener mayor distancia. Por eso las rampas, no ahorran trabajo, pero permite subir cargas aplicando una fuerza menor.



Dentro del periodo del barroco español, una máquina sencilla que favorece la aplicación de la fuerza, pero no la multiplica, puede contemplarse en “*El Milagro del Pozo*” (1639) de Alonso Cano: una polea fija que tiene su apoyo en una viga de madera y que se emplea para elevar pesos. En esta representación del milagro, para extraer manualmente el agua hasta la superficie desde cierta profundidad. Esta sencilla máquina consiste en una rueda acanalada que se utiliza para transmitir una fuerza por medio de cuerdas o correas. Este tipo de polea no proporciona ninguna ventaja mecánica, no multiplica la fuerza ejercida, ya que la fuerza que hay que ejercer es la misma que la que tenemos que vencer, en este caso el peso del cubo lleno de agua. La única ventaja es la comodidad, ya que es más fácil tirar hacia abajo ayudándonos del peso de nuestro cuerpo, que hacia arriba, en sentido opuesto a la fuerza de la gravedad. En efecto, si intentamos sacar de un pozo un cubo lleno de agua con una cuerda, ejercemos realmente la misma fuerza con polea que sin ella.



Para obtener una ventaja mecánica y reducir la magnitud de la fuerza necesaria para levantar una carga, se combinan conjuntos de poleas (polipastos o poleas compuestas) o bien se utiliza la polea móvil. Esta última consiste en fijar la polea a la carga, fijar un extremo de la cuerda al soporte, y tirar del otro extremo de la cuerda para levantar la carga y la polea juntas. Con esto se consigue que la fuerza necesaria para levantar la carga es la mitad de la fuerza requerida para levantar la carga sin la polea, pero por otro lado, la longitud de la cuerda que debe tirarse es el doble de la distancia que se desea subir la carga.

Otra representación, de este mismo periodo, de la aplicación de una fuerza motriz para elevar un cuerpo la podemos encontrar en “*El Martirio de San Felipe*” (1639) de José de Ribera. En este, al igual que en el caso anterior, no se amplifica la fuerza ejercida. Las tensiones a ambos lados de la cuerda son iguales. Sin embargo, se utiliza un travesaño (que no aparece en el cuadro) a modo de polea fija, con el fin de aplicar la fuerza motriz más cómodamente, al tirar de las cuerdas hacia abajo, y que su propio cuerpo les ayude a ejercer la fuerza necesaria para levantar el cuerpo del santo. Teniendo en cuenta que en la imagen hay dos personas tirando hacia abajo de sendas



cuerdas, la suma de ambas fuerzas aplicadas debe equilibrar el peso del cuerpo de San Felipe, al que habría que restar la pequeña fuerza que ejerce un tercer personaje sobre la pierna del mártir para elevarlo.

Los filósofos de la antigüedad llamaban *las cinco grandes*, a las cinco máquinas simples: el plano inclinado, la cuña, el tornillo, la palanca y la rueda, una de cuyas derivaciones es la polea. La rueda puede considerarse como un aparato (por ejemplo, la rueda de un carro) o como un componente mecánico (en forma de rueda dentada). La civilización moderna se desmoronaría si no existiesen estos dos tipos de rueda. Literalmente hablando, la rueda es lo que hace rodar nuestra sociedad.

Una de las múltiples aplicaciones de la rueda aparece en “*La fábula de Aracne o Las Hilanderas*” (1657) de Velásquez. En ella se retrata a varios personajes femeninos, representando al mito de Aracne, en una fábrica de tapices hilando a mano y reduciendo fibras vegetales (lino, lana o algodón) a un hilo continuo cohesionado y manejable. En primer término aparece Atenea (Diosa de la Sabiduría), sosteniendo en su mano izquierda una vara con una porción (copo) de la fibra que está hilando en la rueda, compitiendo con Aracne (maestra tejedora), que aparece devanando una madeja.

La India fue el primer país en utilizar la rueca (Siglo VI a.C) . Durante la edad media se introdujo en Europa, En el siglo XVI se utilizaban dos ruecas, una grande, la de Jersey, y otra más pequeña, la de Sajonia, que incorporaba un pedal que la hilandera hacía funcionar estando sentada, mientras que el huso volante torcía y devanaba la hilaza.

En este cuadro se representa la primera ayuda mecánica para el hilado a mano. En el torno de hilar, el huso, se hace girar mediante una rueda impulsada por la mano (representada sin radios por el efecto estroboscópico), que produce un único hilo, fino y homogéneo, lo que se consigue al mantener una tensión constante y una elevada velocidad. Los hilados confeccionados de esta forma pasaban a los telares de los tejedores para confeccionar prendas, tapices y otros tejidos.

Este sistema manual de hilar se utilizó hasta hace casi doscientos años, y en muchos países en vías de desarrollo, sigue siendo el principal método de hilado. La total mecanización de la industria textil se consiguió en Gran Bretaña a mediados del siglo XVIII en los inicios de la revolución industrial.

## 5. EL ARTE DEL MOVIMIENTO Y LA CINEMÁTICA

*“Cuando todo se mueve al mismo tiempo,  
en apariencia nada se mueve”*

*(Blas Pascal. 1623-1662)*

Desde siempre los pintores han intentado reproducir en sus lienzos la sensación de movimiento en diferentes situaciones, tanto de personajes reales como de mitológicos: ángeles volando, raptos de ninfas, bailes de campesinos, batallas, fuentes de agua, carreras, globos de aire, etc.

Probablemente, el movimiento sea el primer fenómeno físico que conocemos y del que, ya desde muy pequeños, tenemos una idea intuitiva. Si nos encontramos mirando por una ventana, en seguida sabemos si una persona se mueve o no. Basta con que la veamos cambiar de posición. En cambio, la respuesta no sería tan inmediata si fuésemos uno de los personajes que se encuentran en las barcas que aparecen dentro del cuadro *“Vista de la ciudad de Zaragoza”* (1647) de Juan Bautista Martínez del Mazo. En este caso ¿nos encontraríamos en movimiento? Evidentemente, responderíamos que sí, puesto que cambiamos de posición respecto a la orilla y respecto a las personas que se encuentran en ella. Pero también podríamos responder que no, puesto que no cambiamos de posición respecto a los personajes situados dentro de la barca. ¿Qué respuesta es la correcta? Al hablar de movimiento de un cuerpo tenemos que relacionar este fenómeno con un cambio de posición experimentado por el cuerpo respecto a un punto determinado que se toma como referencia. Si no determinamos este punto, no se puede responder correctamente a la pregunta de si se mueve o no.

A partir de esta situación, se puede definir el movimiento como el cambio de posición de un cuerpo respecto a un sistema de referencia que se considera fijo. Todo lo dicho nos lleva a la idea de la relatividad del movimiento. Por eso, en el ejemplo anterior si el sistema de referencia considerado es una de las personas situadas en la orilla asegurábamos que había movimiento. En cambio, si el sistema de referencia es otra de las personas de la barca, no habrá movimiento porque siempre nos encontramos a la misma distancia de ella.

En realidad se considera imposible encontrar un sistema de referencia absolutamente fijo, por lo que no se puede hablar de movimientos absolutos, sino únicamente de movimientos relativos.

El ser humano ha analizado y estudiado el movimiento y las trayectorias de los cuerpos celestes desde hace siglos. Los sacerdotes babilonios recogieron, durante generaciones, la posición del Sol, de la Luna y de los planetas. Fueron capaces de encontrar regularidades, describir las trayectorias de su movimiento y, con ellas, predecir eclipses.

La física define la trayectoria como la línea que describe un cuerpo al moverse, la cual generalmente no es visible, ya que es una línea imaginaria. Sin embargo, en algunos casos es posible apreciarla a partir del rastro o las huellas que dejan las ruedas de una carroza sobre la arena o la estela de una barca sobre el agua. En otros casos, se puede adivinar, como en la imagen representada en el óleo "*San Antonio Abad y San Pablo, primer Ermitaño*" (1634) de Diego Velázquez, donde aparecen los dos santos en el momento en que un cuervo volando trae como alimento un trozo de pan. Tanto el cuervo como el pan, se encuentran describiendo un movimiento de trayectoria recta denominado caída libre (rectilíneo y uniformemente acelerado).

En la misma época en que fue pintado este cuadro, el astrónomo y físico italiano Galileo Galilei (1564-1642) realizó una experiencia que consistía en soltar, desde cierta altura, objetos esféricos de igual tamaño y diferente masa, comprobando que llegaban al suelo a la vez, contradiciendo la opinión de Aristóteles, vigente por esa época: afirmaba que "*los cuerpos pesados caen antes que los ligeros*". Galileo fue el primero en demostrar experimentalmente que, si despreciamos la resistencia que ofrece el aire, todos los cuerpos, independientemente de su masa, caen hacia la Tierra con la misma aceleración, la de la gravedad, cuyo valor es de  $9,8\text{m/s}^2$ . Esto significa que cada segundo de caída libre, el cuerpo adquiere una velocidad de  $9,8\text{m/s}$ .

Si el cuerpo cae libremente, la velocidad inicial es cero, y la ecuación que determina el tiempo que invierte se obtiene de la ecuación del espacio o altura:

$$h = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

La velocidad con la que llega al suelo se obtiene a partir de la ecuación de la velocidad:

$$v = v_0 + g \cdot t$$

Galileo motivado por los problemas de una incipiente artillería, estudió experimentalmente el movimiento de una bala de cañón, concluyendo que el movimiento de la bala disparada horizontalmente, resulta de la combinación de un movimiento vertical y otro horizontal (Principio de superposición) y que el cambio en la posición del cuerpo es independiente de que los dos movimientos actúen sucesiva o

simultáneamente (Principio de independencia). De estos principios se deduce que todos los cuerpos al ser lanzados horizontalmente describen una trayectoria curva llamada parábola.

Este tipo de curva, característica del lanzamiento horizontal, se observa perfectamente en la trayectoria que describe el chorro de leche que mana de una estatua de la Virgen con el Niño, pintada por Alonso Cano en el óleo “*San Bernardo y la Virgen*” (pintado sobre 1660).



Mientras unos soñaban con descubrir las leyes de la naturaleza, otros soñaban con volar, reflejándose este deseo en numerosas pinturas, no solo de carácter religioso y mitológico, sino también constatando hechos históricos como las botaduras de los primeros globos aerostáticos, el primer invento que superaba la imposibilidad de las personas para elevarse desde la superficie de la Tierra y viajar por el aire.

Las botaduras de los primeros globos aerostáticos, considerados hechos singulares e históricos semejantes a la llegada del hombre a la Luna, fueron retratados por pintores como Antonio Carnicero en “*La Ascensión de un globo Montgolfier en Aranjuez*” (1784), convirtiéndose el cuadro en la crónica de un hecho científico pero mostrado e ilustrado de forma artística. Este acontecimiento contó con la presencia de los monarcas y toda su corte, acompañado de numeroso público. El pintor presenció el acto y lo plasmó destacando su importancia y el asombro que produce en todos los asistentes. En este cuadro se refleja el interés de la sociedad del siglo XVIII por los avances científicos.

La moderna historia de la aviación pasa por la invención de estos primeros artefactos voladores que se inicio gracias a la observación casual por José Montgolfier, fabricante de papel en Aviñon (Francia) de que el calor proporcionado por las llamas de una chimenea impulsaba hacia arriba pequeños trozos de papel y de seda, fenómeno que atribuyó al aire eléctrico que también “sostenía a las nubes”. Sin embargo, la verdadera explicación viene dada por el Principio de Arquímedes: “*todos los cuerpos sumergidos en un fluido experimental un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del volumen de fluido (aire en este caso) desalojado*”. Atraído por la relevancia de este personaje nacido en Siracusa, José de Ribera pintó en 1630 “*Arquímedes*”, retratando a uno de los pensadores más importantes de la antigüedad, aunque otros opinan que representa al sabio Demócrito.