

Aplicaciones MECÁNICAS de la GEOMETRÍA.
de la CULTURA MATERIAL

TECNOLOGÍA y DESARROLLO

EN GRECIA



José Manuel González Rodríguez.
Profesor del Dpto. de Análisis Matemático.
Universidad de la Laguna.

1. Introducción.

*E*l título de nuestra comunicación pretende explicar sucintamente la idea que nos mueve a desarrollar ésta. En esencia queremos valorar la influencia de la Ciencia griega en general, y de la Matemática en particular, sobre el desarrollo de la Técnica y su incidencia en el mayor o menor progreso de la Cultura Material de los griegos. Para conseguir nuestro propósito adoptaremos un método de exposición que se articula a través de tres elementos básicos:

- la descripción de las técnicas y adelantos más destacados
- la incidencia de los conocimientos fisico-matemáticos en éstos; y
- la comparación con otras tecnologías y procedimientos conocidos en otras civilizaciones de la Antigüedad, en busca de las posibles mejoras que pudieran haber aportado los griegos.



Partiremos de dos premisas reconocidas por todos los investigadores de la Historia de la Ciencia y de la Técnica. A saber, encontramos, en primer lugar, el hecho de que *"la Historia y la Civilización griega no son más que una continuación de las del antiguo Oriente"*¹; y de igual forma su Ciencia y su Técnica. Y, al propio tiempo, debemos reconocer la poca significación que se le reconoce al progreso de la Tecnología en Grecia y a las aplicaciones materiales de sus avances científicos. En este sentido, encontramos la siguiente cita literal de Jenofonte: *Las que llamamos artes mecánicas llevan un estigma social y son totalmente menospreciadas en nuestras ciudades*².

Pareciera entonces que la Cultura clásica griega seleccionó de forma consciente el cúmulo de legados que aportaron las civilizaciones de Oriente, despreciando un buen número de avances científicos y técnicos, y se especializó en un modo particular de desarrollo de la Ciencia que, en última instancia, sólo perseguía unos ideales de belleza y armonía inasibles. Así nos lo confirma Plutarco en su comentario sobre Arquímedes en su *Vida de Marcelo*. Se refiere el autor al arte de la Mecánica que, según él, fue creado primero por Eudoxo y Arquitas, contemporáneos y amigos de Platón. Ambos científicos se vieron obligados a utilizar ingeniosas construcciones mecánicas para así resolver de forma práctica sus problemas teóricos. Nos cuenta Plutarco que Platón se afligió por ello y los acusó de *destruir todo lo bueno de la Geometría que, por su culpa, había escapado como un esclavo fugitivo de lo incorpóreo e inteligible a lo sensible*.

Sin duda alguna esta aversión de los clásicos griegos hacia la Técnica, y, al propio tiempo, hacia el desarrollo de los progresos en su cultura material nos habla claramente de la propia mentalidad y de la estructura social helénica. Si

[1] Opinión de A. H. Sayce, recogida por B. Farrington, p. 27.

[2] Crónica de la Técnica



admitimos con N. Wiener que *el pensamiento de cada época se refleja en su técnica*³, habremos de incidir una vez más en la intangibilidad y falta de aplicaciones de la Ciencia griega. Mas ocurre que la influencia de la Grecia Clásica ocupa un periodo de tiempo extremadamente largo (como mínimo desde el siglo VIII a. C. hasta el siglo II d. C.), y, entonces, la actitud de los griegos y sus epígonos hacia el desarrollo material de su Sociedad no siempre mantuvo similares inclinaciones.

De este modo se reconocen al menos dos escuelas de escritores griegos sobre Ciencias Mecánicas y Técnicas: la escuela de Aristóteles y la de Arquímedes. La primera fue más reconocida históricamente, pues dominó la Cultura de los siglos del Medioevo; mas en la segunda comparecen científicos de la Epoca Helenística que sí destacaron en el tratamiento práctico de los conocimientos teóricos y que impulsaron notablemente las aplicaciones técnicas en la Antigüedad. A esta escuela pertenecen matemáticos (e ingenieros) tales como Filón, Herón y Ctesibius principalmente, cuyas invenciones nos mostrarán el alto grado de sofisticación técnica que se había alcanzado en épocas tan remotas.

En particular, Herón de Alejandría (siglo I d. C.) se ocupa en varias obras (**Pneumática, De Automatis, Mechanica**) de la construcción de aparatos ingeniosos, que sólo serían perfeccionados ya en la Epoca Contemporánea con la aparición de la máquina de vapor y el desarrollo de los conocimientos en Hidrodinámica. El propio Herón se nos presenta a sí mismo como un científico aplicado (en términos actuales) y, en su obra **De Automatis**, expuso con toda claridad la recomendación de que era preciso empezar por mecanizar los pequeños trabajos que componen la rutina diaria.

[3] J. Aracil, p. 37.



Esta opinión de Herón chocaba frontalmente con la mentalidad griega clásica, que se sustentaba en una estructura social muy rígida donde el sistema esclavista permitía y posibilitaba la ocupación de los hombres libres en actividades teóricas poco aplicables a las necesidades reales de la sociedad. Tal idiosincracia revertía sin duda en la particular concepción de la Ciencia griega⁴ que, en este sentido, se distanció de sus antecesores orientales, ciencias caracterizadas por su eminente y primordial significado aplicado. Con todo, la presencia de científicos de mentalidad similar a la de Herón inclina a Boyer a opinar que: *Actualmente lo que se cree es que en realidad Herón refleja un tipo de Matemática que estaba presente ya desde antiguo en Grecia, pero que no tiene ningún representante entre las figuras más importantes...*(p. 227).

Curiosamente, esta tradición de que nos habla Boyer se emparenta con la tradición orientalista de la Ciencia, nacida en Mesopotamia y Egipto y que renace en Grecia con el comienzo de la Epoca Helenística. Así lo reconoce O. Neugebauer (p. 146) cuando afirma: *... la Matemática del periodo Helenístico, y aún más la de los periodos posteriores, es en parte sólo un eslabón en una tradición ininterrumpida, la cual se extiende desde los primeros tiempos de la Historia Antigua hasta el comienzo de la Epoca Moderna...*

Esta visión de la Historia de la Matemática y de la Técnica griegas nos plantea el interrogante sobre el auténtico alcance de las aplicaciones prácticas de la Ciencia helena; y, sobre todo, sobre la trascendencia y utilidad de los inventos alejandrinos. De igual forma, se nos encarece la aclaración del nexo de unión entre la Ciencia pregriega y la de los griegos; de la recuperación por éstos de los conocimientos de sus antecesores y del desarrollo ulterior de ellos. Tales interrogantes los intentaremos resolver en los apartados que siguen y en las conclusiones.

[4] Ver A. Payson Usher, p. 100; Ch. Boyer, p. 169 y B. Farrington, pp. 162 y 190.



Comencemos entonces por describir un buen número de adelantos técnicos atribuibles a la Cultura griega.

2. Matemática y Tecnología Aplicada.

También se debe a Herón la descripción de las cinco máquinas elementales: el plano inclinado, la cuña, el tornillo, la palanca y la rueda. Según el autor, estas son las *cinco máquinas simples mediante las cuales un peso dado puede ser movido por una fuerza dada*⁵. Conocidas estas máquinas simples, el uso de otros aparatos en la tracción, elevación de sólidos y demás desplazamientos de cuerpos se reduce a la conjunción de algunas de ellas, en forma de poleas, cabrias, grúas, etc. En esencia estamos hablando de la Tecnología Mecánica que conocían (y aplicaban) los antiguos. Analicemos cada una de estas máquinas con cierto detalle.

2.1 Mecánica.

El principio del plano inclinado, que en lenguaje moderno establece que el trabajo realizado, que coincide con el producto de la fuerza por la distancia, supone una fuerza menor cuando el recorrido es mayor (figura 1.) parece que



Figura 1.

[5] Herón. Baroukos o Mechanica.



fue erróneamente formulado por Herón en su **Mechanica**⁶. En él se fundamenta la acción de numerosos aparatos y máquinas, entre las que entresacamos: las rampas, utilizadas ya por los egipcios alrededor del año 3000 a. C. en la construcción de las pirámides; las palancas, cuya ley fue formulada por Arquímedes en su libro **Sobre el equilibrio de los planos** y que sustenta la acción de artilugios como las tijeras, conocidas en Egipto en el 1000 a. C., la bisagra, de remoto origen sumerio, en el 2420 a. C., y el tornillo, usado en la Antigüedad tardía sobre todo en las presas de vino y aceite.

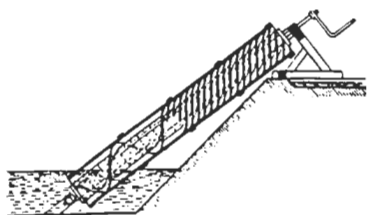


Figura 2.

Tornillo de Arquímedes, instrumento diseñado por dicho matemático, que se empleaba en la elevación del agua en los ríos,

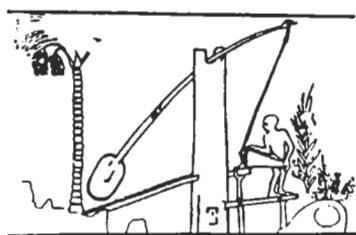


Figura 3.

o en en el drenaje en minas, barcos, etc. (ver figura 2.). Antes de que se usara el tornillo de Arquímedes, en la elevación del agua para el riego se conocían aparatos como el **cigoñal** o **shadoof** de los egipcios en épocas remotas en torno al año 1550 a. C. (figura 3.), conocido en la India como **picotab**, artefacto que utilizaba el principio de la palanca, usado aún en la actualidad y que, en épocas romanas, en forma de catapulta, servía como arma de guerra.

[6] Ch. Boyer. p. 229.



El principio del tornillo también lo usaron tardíamente los griegos en las presas para extraer vino y aceite, siendo conocidas dos de ellas, descritas por Herón (figura 4.)

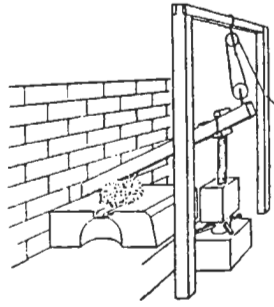
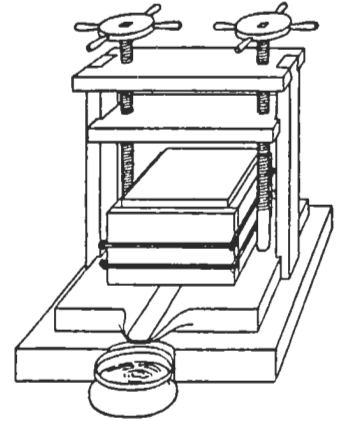


Figura 4.



Estas presas suponen perfeccionamientos de otras más rudimentarias, también conocidas por los griegos, como una recogida en un vaso pintado del siglo IV a. C. (figura 5.), otra descrita por Herón en su **Mechanica** (figura 6.), que se accionaba con la ayuda de poleas, presa que, a su vez, fue perfeccionada en la recogida en la figura 7., que fue descrita por Catón el Viejo.

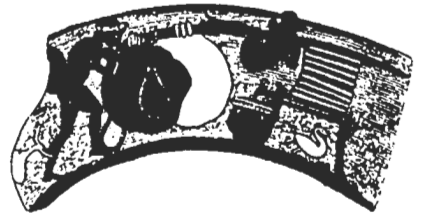


Figura 5.

Basadas en el principio de la palanca se inventaron en épocas alejandrinas ingeniosos artilugios mecánicos, antecesores de los modernos autómatas. Así, Filón de Bizancio escribió en el siglo III a. C. un manual técnico en ocho tomos, titulado **Mechanikè Syntaxis**, donde describe un aparato accionado por monedas. En él se introduce una moneda por una especie de embudo para que, con su peso, abriese una válvula de la que sólo salía agua para ir a caer en una cuchara que, al aumentar de peso, basculaba tirando de un cable que, además de cerrar la válvula, descubría una pequeña ventanilla por la que aparecía una mano ofreciendo un trozo de piedra pómez. Este artilugio fue perfeccionado por Herón, que construyó un aparato similar destinado a dispensar agua para los ritos de purificación.

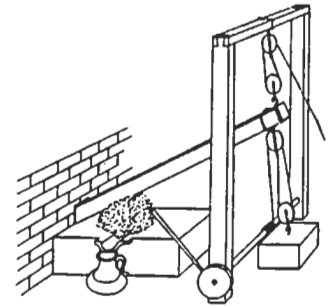


Figura 6.

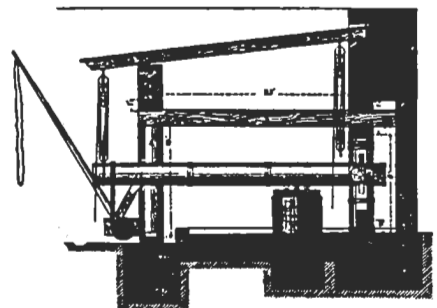


Figura 7.

El principio que rige el funcionamiento de la cuña, similar al descrito en el plano



Figura 8.

inclinado, lo encontramos reproducido en herramientas tales como hachas; arados, conocidos en Sumeria alrededor del 2940 a. C. o las cerraduras, descubiertas por primera vez en Micenas en el 1200 a. C.. La cuña ya fue utilizada por los constructores egipcios en el 3000 a. C. para separar bloques de piedra en las canteras; y su acción en las cerraduras fue perfeccionada en la época de los Tolomeos a través de la llamada **cerradura egipcia**, en la que se usaba una llave de hierro con una serie de púas que formaban un ángulo recto con el travesaño para alzar así los tumbadores (figura 8.).

En lo que respecta al arado, los griegos no añadieron modificaciones sustanciales al que ya era conocido por los egipcios y los sumerios. Era el arado griego un arado ligero (figura 9.); formado por un engero al que estaban atados los animales de tiro, un timón curvo que unía el engero a la reja y una esteva fijada al final del arado para guiarlo con una sola mano. En este arado la parte vulnerable era la reja, pues estaba hecha por lo general de roble; y, extrañamente, no se conocen rejas de hierro de procedencia helénica; que sin embargo sí fueron utilizadas por los romanos.



Figura 9.

Nos queda por describir las innovaciones griegas que utilizan el principio del movimiento circular, esto es, la rueda. La rueda, invento esencial para el desarrollo de las civilizaciones primitivas, la encontramos en norias, azudas, ruedas hidráulicas..., en la alfarería, accionando el movimiento de los carros, etc. Como rueda de carro sabemos que aparece ya desarrollada en la India alrededor del año 2945 a. C.; fue perfeccionada por los Acadios en torno al 2350 a. C. y la encontramos ya con radios en Mesopotamia sobre el año 2000 a. C.. Los griegos perfeccionan notablemente los carruajes, que utilizaban en las campañas bélicas, de tal forma que, en opinión de T. K. Derry y T. I. Willians: los carros de dos ruedas, pintados en los vasos griegos, representan una eminente



Figura 10.



realización técnica que en su momento (conquistas de Alejandro) configuró el curso de la historia (p.281, ver figura 10.) .

La rueda de alfarero tiene un equivalente en el **parahúso** utilizado en la India en el año 2694 a. C. aproximadamente, que se fundamenta en el principio del violín, y aparece en la historia alrededor del año 3000 a. C.. Hacia el año 300 a. C. en Grecia experimentó una mejora técnica sustancial. Ya no es movida a mano o impulsada con el pie, sino que a partir de entonces fue accionada continuamente gracias a un mecanismo de pedal. Para ello se dispone de un pedal en el extremo que da al alfarero y que puede girar alrededor de un eje horizontal, mientras que su otro extremo se mueve libre. Este se une mediante una vara a una articulación. La vara está unida en su otro extremo a un plato vertical que puede girar. Accionando el pedal con regularidad la rueda gira.

Este principio de moción circular se desarrolló en el Mundo Antiguo según lo describe J. Caro Baroja (pp. 94-96) del modo que sigue:

Los griegos conocieron, sin duda, el empleo de las formas cilíndricas para transportar materiales pesados, bien sobre rodillos, bien inscritos en un cilindro. A partir de la Epoca Helenística se realiza un extraordinario avance en la práctica y, sobre todo, en la teoría de la moción circular. Hoy se considera que uno de los más importantes teóricos en este campo fue Estratón de Lampsaco, cabeza del Liceo de Atenas entre los años 287 y 269 a. C., el cual asigna al círculo tres movimientos mecánicos esenciales:

-A lo largo de su circunferencia, como ocurre en relación con las ruedas del carro.

-Alrededor de su centro, como en la polea

-Alrededor de su centro, pero como en la rueda de alfarero.

Es probablemente a Arquímedes a quien se debe el conocimiento teórico más profundo de otras fuerzas, de suerte que en ciertas áreas restringidas del Mundo Antiguo éstas pueden dividirse en dos grandes...:



-La Vis viva o fuerza muscular; ya sea humana o animal

-La Energía cinética, que a su vez se divide en la fuerza hidráulica o la fuerza aérea...

A partir de su época y de la de otro gran experimentador; Ctesibius, la Mecánica adelanta considerablemente... los hallazgos arqueológicos nos hablan de perfeccionamientos en las formas conocidas de moción circular, aunque sea empleando vis viva. Los molinos, sobre todo, adquieren una complejidad no sospechada hasta entonces. Los malacates juegan un papel importante en este momento, tanto en molinos de bestias como en los movidos por hombres, y debemos considerarlos, al igual que la polea, como un elemento más en la transmisión de la fuerza.

Los nombres de Filón de Bizancio y de Herón de Alejandría vienen a revolucionar de nuevo la historia de la Mecánica. En el libro del segundo sobre los aparatos pneumáticos encontramos ya mención de ruedas hidráulicas utilizadas con frecuencia para regar o mover otros objetos. También se registra la existencia de varios tipos de engranajes y la cadena de cangilones...

El ingeniero y arquitecto romano Vitruvio conoce la utilización de la rueda hidráulica para regar en varias formas y el molino de agua con un sistema de engranajes, más complicado que el viejo molino de eje vertical. Podemos decir que en el siglo I a. C., la moción circular se hallaba en un estado de gran complejidad teórica, y su utilización práctica se encontraba en condiciones de adquirir un nuevo incremento.

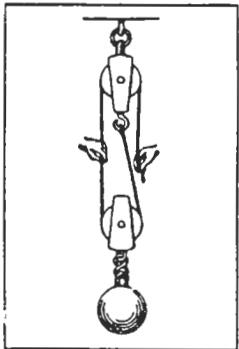


Figura 11.

En la cita anterior aparecen algunas máquinas de uso común en la actualidad, pero que en la Antigüedad Helena debieron revolucionar el panorama de las aplicaciones técnicas. En particular, la polea, conocida ya en Egipto en torno al año 1510 a. C. en forma de grúa, fue perfeccionada por los mecánicos griegos del siglo VII a. C. en forma de polea compuesta o **polipasto**. El polipasto se compone



de una polea fija y una segunda sujeta al objeto que se quiere desplazar. Una cuerda discurre, partiendo de un punto fijo, primero alrededor de la polea móvil y después de la fija. Estirando del extremo libre, la carga se desplaza únicamente la mitad de la distancia de lo que lo hace el otro extremo (figura 11.).

Se sabe que las poleas compuestas fueron utilizadas frecuentemente en épocas griegas, en forma de **garrucha** (figura 12.); siendo conocida la historia según la cual Arquímedes se valió de una para desplazar un barco con toda su carga en el puerto de Siracusa.

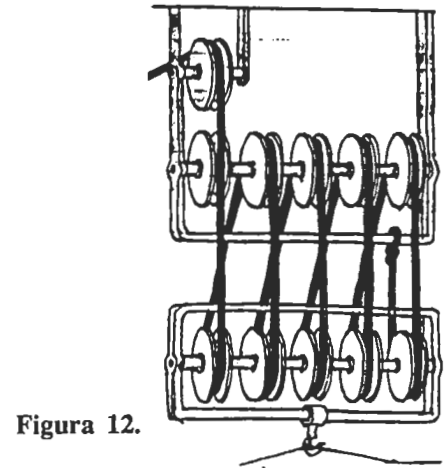


Figura 12.

En cuanto al movimiento circular accionado por agua o aire en norias, azudas y molinos, sabemos que en Mesopotamia, alrededor de 1510 a. C., se utilizaban ruedas huecas de varios metros de diámetro, en cuyo interior o sobre cuya superficie externa corría una persona con el fin de accionar dispositivos de extracción de agua (Ver reconstrucción de una tal noria en la figura 13.). Este mecanismo emparenta con el **tímpano** descrito por Vitruvio (figura 14.) según reconstrucción de Perrault. Con todo, la historia de la noria de sangre está aún por hacer, y, en opinión de A. P. Usher (p. 129): *conocemos poco de la historia de la noria antes del primer siglo a. C.* Por otra parte, según recogemos de J. Caro Baroja (p. 79):

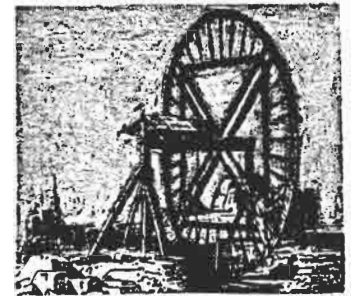


Figura 13.

La tracción animal del tipo de la usada para mover la noria de sangre comienza a conocerse en el mundo grecoromano, aplicada a diversas clases de muelas en época posterior al siglo IV a. C., y parece depender de investigaciones mecánicas hechas por discípulos de Aristóteles, como Estratón.

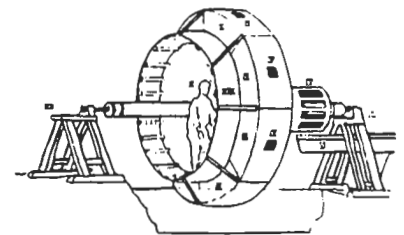


Figura 14.



Los engranajes son poco conocidos por los tratadistas de Mecánica antiguos, como Filón, y algo más por los más modernos, como Herón.

Entre el momento en que se tuvo conocimiento teórico de tales principios y aquél en que se aplican a fines utilitarios pasa, por lo general, bastante tiempo...

...No hay ninguna descripción fehaciente de noria de sangre en los textos clásicos o grecorromanos, aunque sean de época baja. En tal época llevan a cabo innovaciones tecnológicas los ingenieros persas de los monarcas Sasánidas, algunos chinos y también hindúes. Sin embargo, hay que colocar a los primeros como antecesores directos de los mecánicos árabes...mas, con todo, debemos asumir con este autor que:

...De todas formas, la noria como máquina no se comprende sin que previamente haya existido la Mecánica helenística. Es muy probable que no sea una invención directa de los alejandrinos o los griegos de la época imperial, pero quienes la inventaron, fueran persas u orientales de otra estirpe, sabían mucho de lo que aquéllos habían ideado en punto a engranajes y mecanismos. Conocían probablemente los libros de Filón, Herón, etc., como luego los conocieron los mecánicos y hombres de ciencia árabes.

Los comentarios de Caro Baroja quedan confirmados en varios sentidos. Así, se conoce un aparato ideado por Herón, llamado **anemurion**, que accionaba un órgano mecánico, gracias al movimiento de un pistón que a su vez era accionado por el viento (ver figura 15.).

Algunos especialistas han querido ver en este aparato un precedente del molino de viento, y sostienen a su vez que este último era conocido por los mecánicos alejandrinos. Mas la opinión generalizada nos habla de que los griegos desconocieron dicho aparato, estableciendo su origen a la época de la obra **Las praderas de oro** del autor árabe del siglo X

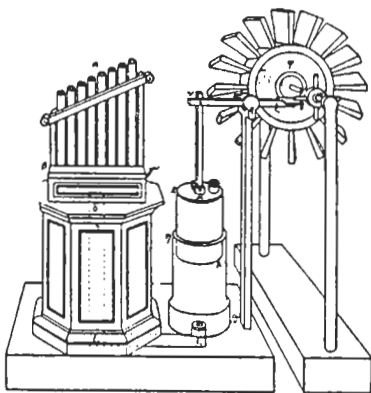


Figura 15.



Al-Masudi (912-957 d. C.) quien localiza tales molinos en el Sijistán, zona comprendida entre las actuales Irán y Afganistán.

Curiosamente la inexplicable inexistencia de molinos de viento en Grecia contrasta con el uso generalizado de ruedas movidas por el agua y de los engranajes; elementos que conforman la esencia de la construcción de un molino. En lo que se refiere a las ruedas de corriente, J. Caro Baroja (p.50) recoge:

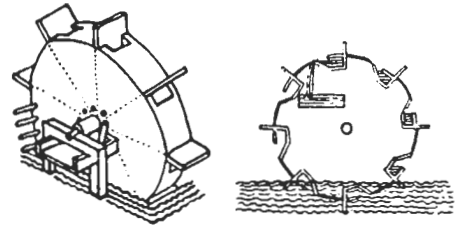


Figura 16.

... poco a poco la rueda hidráulica se fue aplicando a varios usos en las márgenes del Mediterráneo oriental, y de allí su empleo se difundió hacia Occidente y Oriente, sin que pueda reconstruirse de modo muy seguro este proceso de difusión.

Lucrecio, nacido el año 95 a. C. hace al parecer ligera mención de un ingenio que es ya, cierta y claramente, la rueda movida por las corrientes de agua. Ya en la edad augustea, Vitruvio conocía varios tipos de rueda elevadora, aplicados a distintos usos. Y comenta: Del mismo modo se hacen también azudas en los ríos, acomodando las voladeras en la circunferencia exterior; las cuales, impelidas al ímpetu de la corriente, giran perennemente la rueda, que tomando el agua con los cajoncillos y llevándola a lo alto, hacen el efecto deseado, sin impulso y sólo con la corriente misma.

Esta opinión concuerda con el descubrimiento de algunos artilugios ideados por Filón con el fin de producir de modo regular sonidos. Uno de ellos, recogido en la figura 17, se reduce a la aplicación de una rueda hidráulica. Entonces podemos aventurar con A. P. Usher que, teniendo en cuenta los dos siglos transcurridos entre los trabajos de Filón y los tratados de Vitruvio: *en este periodo la noria fue probablemente introducida en el Mediterráneo, y el molino con engranajes*

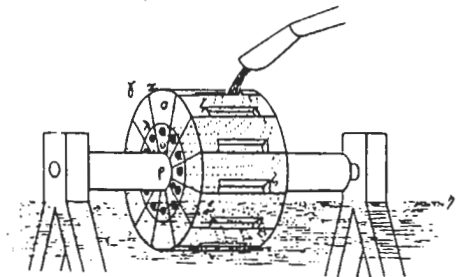


Figura 17.



fue inventado. Tenemos razones para presumir que la rueda hidráulica horizontal con engranajes fue inventada en este periodo, mas sin una certeza absoluta. Un epigrama de Antipatro de Tesalónica y una referencia en la Geografía de Estrabón sugieren el uso de las ruedas de agua en el primer siglo. (p.165).

El autor también estima que el uso de engranajes en la transformación de movimientos rectilíneos en circulares o viceversa, estaba generalizado en la época helenística. Esta opinión concuerda con la tradición según la cual Filón de Bizancio inventa la articulación **cardán** y con el descubrimiento del **Mecanismo de Antikythera**, una variante de calendario mecánico construido en Grecia alrededor del año 100 a. C. y recuperado de un naufragio en las cercanías de la isla que lleva su nombre. Esta máquina posee 25 ruedas de engranaje de bronce, y forman un complejo tren de engranajes que podía mover los indicadores para señalar las futuras posiciones del sol y de la luna.

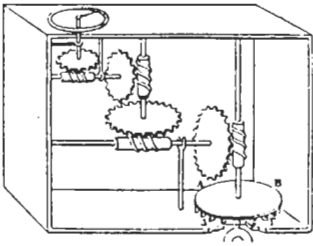


Figura 18.

Los engranajes más perfeccionados pertenecen al reloj hidráulico construido por Ctesibius en torno al 250 a. C., en el cual se utiliza el engranaje de piñón y la barra dentada, como veremos; y los que usa Herón en el montaje de su **Odómetro** (figura 18.), y en el de su **Dioptra** que se usaba en la medición de ángulos (figura 28).

En cuanto a artilugios mecánicos perfeccionados por los griegos podemos hablar en último término de los muelles y resortes. Estos se usaron principalmente como mecanismos impulsores en las armas, y aparecen así en la **catapulta**, utilizada por primera vez por Dionisio de Siracusa alrededor del año 400 a. C.; o en el arco, accionado por cordeles retorcidos, perfeccionado por los ingenieros de Alejandro en el asedio de Tiro (año 332 a. C.). Los mecánicos helenistas clásicos no fueron ajenos al perfeccionamiento de estos mecanismos bélicos, y, así, se conoce que Filón propuso la utilización de muelles de bronce como fuente de energía, Ctesibius construye una ballesta



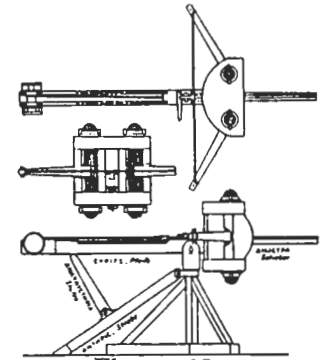
accionada por el aire comprimido (descrita más adelante) y utiliza de igual modo resortes planos para construir catapultas; y Herón perfecciona la ballesta, diseñando una que era accionada mediante artulugios mecánicos (figura 19.)

2.2. Hidráulica y Pneumática.

Los avances griegos en las técnicas asociadas a la Hidráulica y la Pneumática se circunscriben fundamentalmente a los trabajos de Filón, Ctesibius y Herón. La datación exacta de la época en la cual vivieron estos "ingenieros" griegos es aún imprecisa; pero se conocen por los trabajos de Drachmann algunas fechas fidedignas. Ctesibius vivió entre los años 300 y 200 a. C.; fue hijo de un barbero y él mismo también fue barbero. Se le estima sólo como ingeniero e inventor. Filón de Bizancio fue discípulo de Ctesibius y su vida se prolongó en el intervalo de la generación posterior. La vida de Herón de Alejandría queda datada por la coincidencia con un eclipse ocurrido en el año 62 d. C.; por tanto debió vivir en la segunda mitad del siglo primero.

La labor de estos inventores queda reducida a la utilización práctica de algunos principios físicos, poco o nada conocidos por ellos. Se sabe que les eran familiares los fundamentos elementales de la Hidrostática, ya que Arquímedes había establecido su Principio que explica la flotación de los cuerpos. Gracias al conocimiento de éste, los sifones y las bombas de succión fueron entendidos y utilizados en la elevación del agua. En concreto, el sifón, conocido en Egipto alrededor del 1500 a. C. y que procede de Siria o Palestina, fue perfeccionado por Ctesibius, quien construye una bomba de aspiración utilizada en el trasvase de bebidas.

Por otra parte, varios fenómenos que se explican con la ayuda de la fuerza ejercida por la presión en líquidos y gases fueron conocidos experimentalmente, sin que se siguiera de ello





una correcta valoración del principio físico que lo sustenta. En particular, la presión atmosférica no era explícitamente entendida, aunque se debe a Empédocles el reconocimiento de la distinción entre aire y espacio vacío, distinción que supo demostrar experimentalmente. También Filón parece conocer el principio de los vasos comunicantes, pues lo sabe utilizar en la construcción de una lámpara de aceite automática.

En todos los casos, aunque los ingenieros griegos carecieran de la fundamentación teórica que explica los principios que rigen el funcionamiento de sus aparatos, sí pudieron construirlos, alcanzando un grado de perfección altamente notable. Describamos algunos ejemplos.

Encontramos en primer lugar la bomba de presión de Filón, quien, recogiendo los conocimientos aportados por Ctesibius, construye un mecanismo como el recogido en la figura 20.. Según narra Herón, esta bomba se utilizó como extintor de fuegos, y como vemos consta de dos cilindros que actúan como bombas, comunicados con un depósito. El agua fluye, tras producirse el vacío al ascender el pistón en cada cilindro, y es impulsada hacia el depósito cuando se produce la compresión.

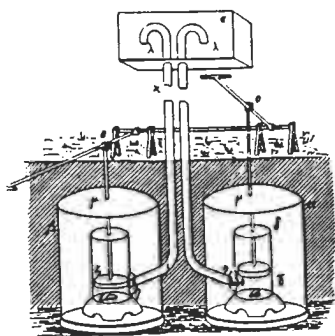


Figura 20.

Esta bomba de presión ideada por Filón fue una simplificación de otra construída por Ctesibius y reproducida en la figura 21., según la reconstrucción hecha por Vitruvio.

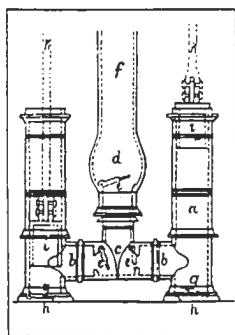


Figura 21.

El principio del vacío y de la compresión del aire explica también el funcionamiento del órgano de agua, construido por Ctesibius y que aparece en la figura 22.. Fácilmente comprobamos que, cuando se pisa H el émbolo B asciende hasta la posición A; entonces el aire es impulsado a través de la válvula C hacia D, el aire de D empuja el agua hacia abajo y



hacia afuera, y la presión del agua hace que el aire de D y E fluya por el tubo G del órgano.

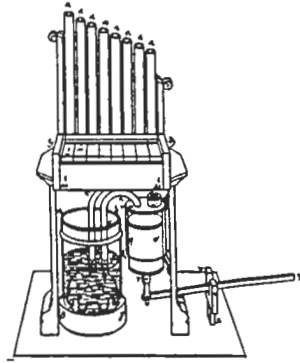
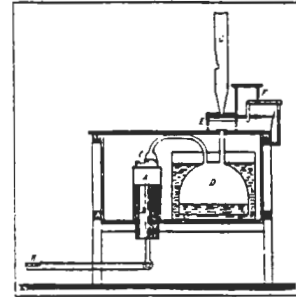


Figura 22.



La imaginación aplicada de Ctesibius no se agota en estas máquinas, y así el "barbero" griego supo conjugar los conocimientos mecánicos con los neumáticos para ingeniar otros mecanismos asombrosos. Encontramos en primer lugar la ballesta accionada automáticamente con la ayuda de la fuerza de la presión (figura 23.) cuyo funcionamiento brevemente podemos describir del siguiente modo: al tirar de la cuerda los émbolos entran en los cilindros por lo que, al soltarla, éstos retroceden con rapidez gracias a la acción del aire comprimido, y la cuerda impulsa el proyectil.

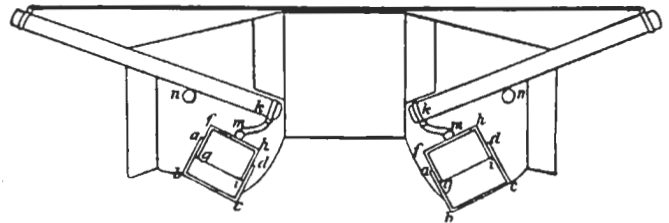


Figura 23.

En segundo término encontramos el reloj de agua de gran precisión, reconstruido por el Museo Alemán de Munich (figura 24.) y cuyo funcionamiento se explica con la ayuda de la figura 25.⁷ :

[7] Crónica de la Técnica, p. 84.

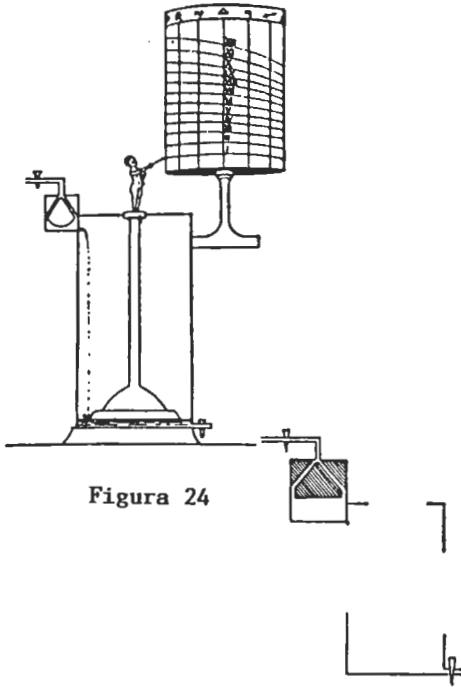


Figura 24

... dicho reloj está construido por una pipeta dotada de una abertura de oro realizada con gran precisión, o de una piedra preciosa perforada, a través de la cual el agua fluye de manera uniforme haciendo ascender un flotador situado en el recipiente inferior. Este eleva una cremallera orientada vertical hacia arriba, que engarza en un tren de ruedas. El tren de ruedas acciona a su vez una columna de 1,25 m de alto, sobre cuya superficie -perpendicularmente desde abajo hacia arriba- aparecen señalados dos grupos de 12 horas cada uno. Al pie de la columna se encuentra una pequeña estatua de mujer, de cuyos ojos brotan constantemente lágrimas. Estas se recogen en un tubo vertical provisto también de un flotador con cremallera, que eleva poco a poco con su extremo superior una figura de mujer. Esta segunda figura al ascender indica, con la ayuda de una vara, las marcas horarias. Una vez que la figura ha recorrido los dos grupos de 12 horas correspondientes al día y la noche, en el tubo que contiene el flotador se abre una válvula de manera automática. El agua sale del tubo y el flotador desciende mientras que la cremallera acciona el tren de ruedas que hace que la columna avance un día. De este modo y en el transcurso de un año, la columna describe una vuelta completa alrededor de su eje. De manera simultánea, la figura que indica las horas regresa de nuevo a la hora 0.

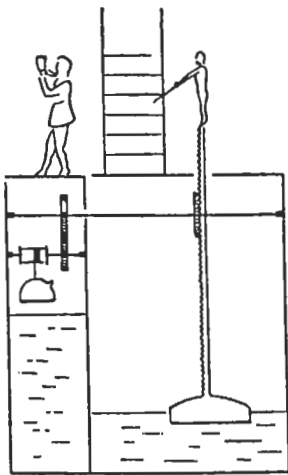
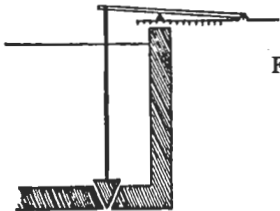


Figura 25





2.3. Terminología y Termodinámica.

De igual modo que en Pneumática brillaron los genios de Filón y de Ctesibius, las contribuciones más geniales en Terminología se deben a Herón de Alejandría. A él se atribuye la utilización de la energía de origen térmico en la construcción de aparatos que producían determinados movimientos. El más elemental de ellos fue el **aelópilo** o **bola de vapor** que en esencia consistía en una caldera semiesférica cerrada en la parte superior por una placa, en la que se hacía hervir el agua. El vapor ascendía por unos tubos que atravesaban la tapa y llegaba hasta una bola hueca que giraba en torno a un eje, provista de dos tubos de escape, cuyos extremos estaban curvados en direcciones opuestas. La reacción provocada por el vapor al escaparse por estos tubos, hacía que la bola adquiriera un movimiento en dirección opuesta a la de salida del vapor, convirtiéndola así en una auténtica turbina.

Este mecanismo fue utilizado por Herón en la construcción de juguetes y artilugios lúdicos como el que recogemos en la figura 26. Más sofisticado fue el ingenio que construyó con el fin de accionar automáticamente las puertas de un templo. Así nos lo describe P. Coll, (pp. 174-175):

... los sacerdotes de Alejandría encargaron a Herón que idease algo especial y sorprendente. El gran mecánico les propuso disponer una instalación en la entrada del templo capaz de provocar la apertura automática de las puertas al encenderse el fuego del sacrificio...

La instalación proyectada por Herón fue construida basándola en el principio del vacío, ya descrito en el año 275 a. C. por el sabio griego Estratón de Lámpsaco y en la dilatación del aire al ser calentado...

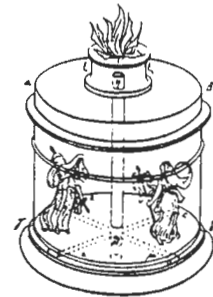


Figura 26.

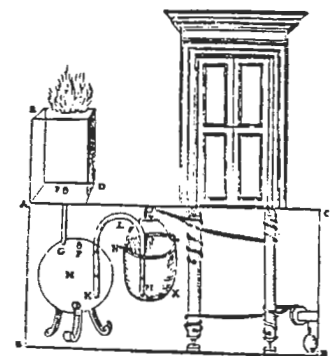


Figura 27.



Al encender el fuego en el altar se calentaba el aire existente en la cámara situada debajo, dilatándose y circulando por unos tubos herméticos para luego pasar a un depósito lleno de agua que había colocado debajo del altar. El aire de este depósito también se calentaba, con lo cual aumentaba la presión hasta impulsar el agua, que salía por un segundo tubo para ir a caer en un recipiente cerrado, llenándolo hasta alcanzar un peso que lo hacía descender, a la vez que tiraba de una cadena que, deslizándose sobre un rodillo, estaba unida a los dos goznes subterráneos de las puertas del templo. La tensión de la cadena hacía girar los goznes; entonces se abrían las grandes hojas de la puerta.

Herón construye también un **termoscopio** antecesor del termómetro moderno. Por sus conocimientos de mecánica, óptica, cartografía, etc., debe ser considerado como el Gran Ingeniero de la Antigüedad.

2.4 Óptica, Acústica, Metrología y otros procedimientos de Registro y Comunicación.

Las aportaciones griegas en Óptica y Acústica son escasas y poco documentadas. Se cree que Herón de Alejandría conocía las leyes de la reflexión de la luz; y sabemos con certeza que los pitagóricos ya habían relacionado la intensidad de los tonos con el número de oscilaciones del cuerpo que los emite (Arquitas de Tarento, 390 a. C.). Sin duda el ingenio griego floreció más en el aspecto práctico de estas ciencias, y en cuestiones de aparatos de mediciones astronómicas y topográficas realizaron progresos notables.

Los astrónomos babilónicos conocieron instrumentos para observar las estrellas y para determinar sus posiciones. Estos fueron: el **cuadrante solar**, la **clepsidra o reloj de agua** y el **polos**. En particular, éste consiste esencialmente en un recipiente hemiesférico con un indicador vertical en el fondo que llega exáctamente hasta el centro de la esfera. La sombra del



extremo del indicador recorre sobre el recipiente, en sentido inverso, el curso del sol a través del cielo.

Los griegos perfeccionaron estos instrumentos construyendo otros nuevos como el **astrolabio**. Se supone que éste fue inventado por Arquímedes y que Hiparco lo perfeccionó. Estos aparatos ya eran de uso común en épocas de Tolomeo y continuaron utilizándose hasta la invención de las lentes ópticas en el siglo XVI.

Para medir ángulos pequeños Herón construyó su **dioptra** que perfeccionó la **groma** de los egipcios y griegos primitivos (figuras 28 y 29.)

Las observaciones astronómicas de los griegos fueron precisas y ajustadas a los valores conocidos en la actualidad. Tal precisión les permitió realizar cálculos acertados de algunas magnitudes, como fueron entre otros: el perímetro de la Tierra, medido por Eratóstenes; la distancia de la Luna a la Tierra, determinada por Aristarco y precisado con menor error por Hiparco de Nikaria; el diámetro de la Luna, también obtenido por este astrónomo, etc..

Por otra parte, parece ser que las observaciones del Cosmos fueron utilizadas de forma práctica en Metrología. Se sabe así que la medición del tiempo y el calendario fueron perfeccionados gracias a las innovaciones aportadas por los astrónomos. Sin embargo, no ocurrió lo mismo con los diversos sistemas metrológicos griegos, todos ellos caóticos e irregulares. Según recogemos de F. Zavelski (pp. 32-36):

Los primeros dispositivos con cuya ayuda la gente empezó a medir el tiempo fueron los relojes de Sol, de arena, de fuego y de agua o clepsidras. El reloj de Sol se conoce desde hace mucho tiempo, más de 500 años antes de nuestra Era...

...Primero el indicador del reloj de Sol era una vara metida verticalmente en la tierra (gnomon) y el cuadrante constaba de jalones clavados en ella. Quizás era la forma más simple, pero no la más cómoda de los relojes de Sol, pues, siendo

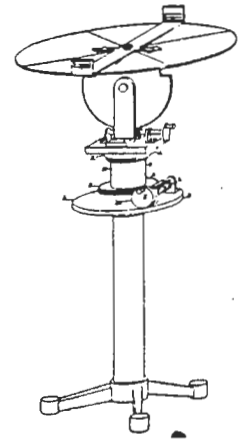


Figura 28

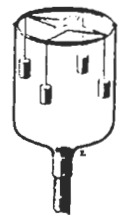


Figura 29



la posición del indicador vertical y la del cuadrante horizontal, el extremo de la sombra no describe una circunferencia, sino otra curva más compleja, con la particularidad de que día tras día, mes tras mes la posición de dicha curva cambia.



Figura 30

Muchos sabios del Mundo Antiguo se ocuparon de mejorar los relojes de Sol. Para que fuesen útiles para cualquier día y mes el cuadrante del reloj de Sol se confeccionaba en forma de múltiples líneas con divisiones, cada una de las cuales se destinaba para un mes determinado. Así era el reloj de Sol del astrónomo Aristarco de Samos. En este reloj el cuadrante tenía forma de copa con una red compleja de líneas trazadas en su superficie interna. El reloj de otro astrónomo de la Grecia Antigua Eudoxio recibió el nombre de **arajna** porque la red compleja de líneas en su cuadrante se parecía a la telaraña. A este mismo tipo pertenece el reloj de Sol que se conservó hasta nuestros días confeccionado por Andrónico de Kirrus (figura 30.) con una red de divisiones, calculada para diversos meses del año...

... Un paso decisivo en el mejoramiento del reloj de Sol fue hecho cuando los astrónomos comprendieron qué ventajas se obtenían al colocar el indicador paralelamente al eje terrestre.

Cuando éste se sitúa de esta forma, su extremo resulta ser dirigido hacia el Polo Universal, o sea, al punto de la bóveda celeste que, al girar la Tierra, parece ser inmóvil. Si además la tabla con el cuadrante se coloca perpendicularmente al indicador, el extremo de la sombra describe en ella un arco de circunferencia y la velocidad del movimiento de la sombra permanece constante. Como consecuencia del movimiento uniforme de la sombra, las divisiones horarias resultan iguales (figura 31.).

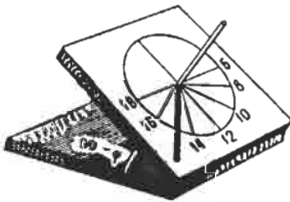


Figura 31

El reloj de arena es suficientemente conocido; y en el reloj de agua o clepsidra, procedente del Antiguo Egipto, el tiempo se mide en una pipeta llena de agua que se vacía lentamente



(figura 32.). La clepsidra más perfeccionada de las construidas por los griegos fue el reloj de precisión de Ctesibius que ya hemos descrito.

En la Grecia Antigua el calendario estaba poco perfeccionado, e incluso era menos preciso que los calendarios mesopotámico o egipcio. Es conocida la enrevesada forma de contar los años, los meses y los días que utilizaba Tucídides en tiempos tan avanzados como el siglo V a.C.⁸ Con el perfeccionamiento de la técnica los matemáticos griegos consiguen introducir un calendario razonablemente preciso y ajustado a las fases de la luna y a la revolución anual de la Tierra. Según F. Zavelski (p.15):

En la Grecia Antigua inicialmente se usaba el calendario lunar en el cual el año constaba por turno de 12 ó 13 meses. La alternación de los años corrientes y prolongados se realizaba cada vez por una decisión especial de los gobernantes de cada ciudad. Naturalmente que eso conducía a una gran discordancia... En el año 593 a. C. era el arconte de Atenas el sabio Solón, quien introdujo un calendario de tipo de babilonia con un periodo de ocho años en el cual había 5 años corrientes de 12 meses y 3 años prolongados de 13 meses.

Esta reforma produjo un ajuste bastante notable entre el año solar que dura aproximadamente 365 y 1/4 días y el lunar que consta de 12 meses de duración 29 días y medio. Comparando ambas mediciones se produce un desfase y se necesitó adoptar nuevos ajustes entre ellos en forma de ciclos de determinados años, transcurridos los cuales volvían a coincidir los mismos fenómenos periódicos: estaciones, equinoccios, etc.. Las reformas



Figura 32

[8] Cuando Tucídides quiere fijar no sólo la estación, sino incluso un mes concreto de un año dado, no tiene más remedio que largarnos una monstruosa parrafada como ésta: "Cuando Crýsis llevaba 47 años de sacerdotisa en Argos, y Aenisio era entonces éforo en Esparta, mientras que a Pytodoro le quedaban todavía cuatro meses de arcontado en Atenas". (Bochner, p. 61)



posteriores del calendario las describe Farrington (pp. 106-107) como sigue:

... en el año 433, el astrónomo Metón introdujo en Atenas un ciclo de diecinueve años,... la invención del ciclo de setenta años de Calipo se introdujo en Atenas hacia el año 334, y el ciclo de 304 años ideado por Hiparco hacia el año 125.

El ciclo de Hiparco dependía de una estimación de la duración del año tropical de 365 días, 5 horas, 55 minutos y 12 segundos, que excede en cerca de 6 minutos y medio nuestros cálculos, y de una estimación de la duración del mes lunar medio de 29,530585 días, correcta para cuatro cifras decimales, con menos de un segundo de error.

Con todo la reforma del calendario más importante dio lugar al calendario **juliano**, introducido en épocas de Cayo Julio César y basado en los cálculos efectuados por el astrónomo alejandrino Sosígenes alrededor del año 46 a. C.. Este calendario fue de uso generalizado en todas las culturas occidentales hasta que se estableció la reforma impulsada por el papa Gregorio XIII, ya en 1582.

Si bien los cálculos astronómicos condujeron a los griegos a una correcta y precisa medición del tiempo, no ocurrió lo mismo con otros sistemas de medición: lineales, agrarias, de peso y de capacidad. En contra de la opinión de ciertos investigadores del siglo XIX⁹, que quisieron ver en la Metrología griega un sistema de pesos y medidas regular y completamente estructurado, similar al Sistema Métrico Decimal (SMD) introducido tras la Revolución Francesa; se sabe en la actualidad que los griegos no conocieron un modelo metrológico tal, e incluso sus pesos y medidas formaban un conglomerado más inconexo que el del propio sistema babilónico. Según reconoce Ifrah (p. 245), durante la segunda mitad del primer milenio a. C. cada Estado griego

[9] Vázquez Queipo. Saigey. Wexb....



poseía su propio sistema ponderal, así como su propio sistema monetario... Es más, la idea de un sistema metrológico normalizado, y la de un sistema monetario internacional era totalmente extraña al espíritu helénico.

En todo caso sí se sabe que las antiguas medidas egipcias fueron modificadas sustancialmente para configurar la base fundamental de las primeras unidades de medida lineales que conocieron los griegos. Según Plinio, parece que el sistema egipcio se conservó en las regiones de Fócida, Tesalia, Macedonia y Tracia; y que las primeras reformas metrológicas fueron emprendidas por Fidón de Argos y por Palamède. Fue Solón quien pretendió unificar los distintos sistemas helenos e imponer en todos los Estados la reforma que había iniciado en Atenas; mas sólo con el sistema metrológico **filiteriano** establecido en Egipto en épocas de los Tolomeos se alcanzó cierto grado de universalidad, de tal modo que este sistema, perfeccionado y modificado por árabes y godos fue recogido por Carlo Magno y dio lugar a los sistemas metrológicos tradicionales en Europa¹⁰.

En este sistema las unidades de medida de longitud se estructuraban a partir del **codo real** egipcio de siete palmos, las unidades de capacidad para líquidos se distribuían siguiendo el aforo de la **metreta** de Alejandría, que, en opinión de Herón, coincidía con la que fue utilizada en Atenas; la capacidad de los áridos se medía en función de la **gran artaba** de Alejandría; las superficies agrarias, en función del **socarion**: cuadrado de 16 **orgyas** o **brazas** de lado; y los pesos, en función del **talento**, de origen oriental. Como vemos, el sistema metrológico filiteriano, el más perfecto y difundido en la Antigüedad Helénica, no dejaba de ser una amalgama de unidades, múltiplos y divisores de procedencias diversas. En esta dirección resultan ridículas las opiniones de algunos enciclopedistas (como Bailly) que sostenían que los antiguos, habiendo medido las dimensiones de

[10] Ver Saigey, p. 126.



la Tierra, habían instaurado un sistema metroológico regular, cuyas unidades venían dadas en función de un patrón lineal, que significaba un divisor exacto de la medida realizada (es decir, existía un sistema similar a nuestro SMD). Para desechar este concepto sólo nos basta con comparar las dimensiones de las diferentes unidades de medida lineales conocidas por los griegos y su relación con el valor del grado de circunferencia, tal como lo obtuvo Eratóstenes. Tenemos así el cuadro que sigue:

Clases de Estadios	Olímpico	Filete- riano	Pítico	Grande Asiático	Náutico
Estadios en el grado	600	529	750	500	666,6
Pies olímpicos	600	690,5	480	720	540
Pies romanos	625	714,8	500	750	563
Pies píticos	750	850,5	600	900	675
Pies fileterianos	529	600	424,5	640	480
Pies Náuticos	666,7	756	533,3	800	600

Si bien en Metrología los cálculos astronómicos y los adelantos científicos poco influyeron en el perfeccionamiento de los sistemas de pesos y medidas, éstos sí que hubieron de revolucionar el Arte de Navegación y las técnicas Cartográficas. Los griegos, comerciantes natos, y, por tanto, viajeros contumaces perfeccionaron tanto las técnicas de navegación como la construcción de barcos y la elaboración de mapas. En el Arte de Navegar se adelantaron a los griegos fenicios y minoicos. Se conoce que los fenicios llegaron a circunnavegar Africa hacia el año 600 a. C.. Por otra parte, fueron los cartagineses quienes costearon la costa occidental africana hasta Sierra Leona. Entonces aparecen los griegos. Entre sus contribuciones se comenta que Tales conocía un método aplicable en la orientación en el mar y que el Mar Negro fue descubierto por los griegos de Mileto hacia el año 800 a. C.. Este



descubrimiento inició una larga sucesión de viajes en los cuales se comerciaba con otros pueblos, al propio tiempo que se fundaban colonias. De todos los viajes acometidos por ciudadanos griegos el más célebre fue el de Piteas, del cual nos habla Farrington (p. 158) en los siguientes términos:

Desde Marsella emprendió el capitán focense Piteas hacia el año 300 a. C. uno de los grandes viajes de la Antigüedad... atravesó las columnas de Hércules y costó hacia el norte. Su principal objetivo eran las minas de estaño de Cornualles, que visitó y describió correctamente. Piteas fue un hombre culto y un hábil astrónomo, y su viaje fue valioso en resultados científicos. Fue capaz de descubrir que la estrella polar no está situada exactamente en el polo y de determinar la latitud de Marsella con unos pocos minutos de diferencia de la cifra correcta. Sus observaciones exactas dieron a geógrafos posteriores puntos de referencias que permitieron levantar el mapa de la Europa nórdica y central; y gracias a la información que proporcionó pudo Eratóstenes ubicar Irlanda en su posición correcta.

Encontramos en la cita anterior la importancia que concedieron los griegos a las observaciones astronómicas en orden a poder dibujar correctamente mapas y cartas marinas. Los mapas, que ya eran utilizados en Mesopotamia en torno al año 2500 a. C., aparecen por primera vez en Grecia con los trabajos de Anaximandro alrededor del 546 a. C.. Uno de sus sucesores Hecateo hizo otro mapa hacia el año 510 a. C. como complemento de su descripción del mundo. Hecateo agrupó las tierras que conocía de forma simétrica alrededor del Mediterráneo. Eratóstenes, reuniendo los resultados del prolongado esfuerzo precedente en la materialización de cartas geográficas y completándolos con superiores conocimientos científicos, calculó que la región habitable de la Tierra era un área de unos 15000 kilómetros de longitud y 7000 de anchura, que dividió en rectángulos mediante paralelos y meridianos. Sus dos ejes principales se cortaban en la isla de Rodas y los meridianos extremos correspondían a las columnas de Hércules y al Ganges.

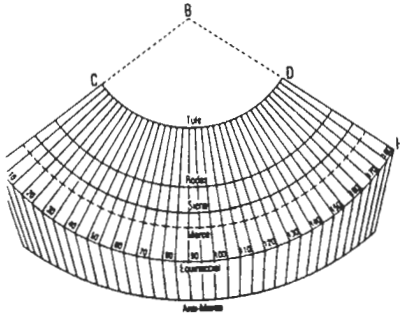


Figura 33

Con todo, el perfeccionamiento máximo de la Cartografía llegó con Tolomeo. Este en su **Geografía** establece la posición de 8000 lugares conocidos y se basa en las aportaciones de Hiparco y en los conocimientos dados por navegantes y comerciantes. De Hiparco asumió la doctrina de que todos los puntos geográficos deben ser determinados astronómicamente, las latitudes por referencia a la altitud del polo y las longitudes por un método dependiente de la observación de los eclipses lunares. El esquema del sistema utilizado por Tolomeo lo recogemos en la figura 33., donde advertimos el uso que hace el autor de un tipo de proyección de la esfera en el plano. En esencia éste es el problema central de la construcción de

mapas: transformar la esfera en un plano de tal modo que la representación obtenida tenga el máximo de exactitud y precisión. Para realizar este "intercambio" los griegos utilizaron las proyecciones sobre superficies desarrollables, principalmente las llamadas **estereográfica**, representada en la figura 34. y la **cilíndrica ortográfica**, recogida en la figura 35.. Ambas proyecciones eran conocidas por Tolomeo y se distinguen por el hecho de que la primera conserva los ángulos y la segunda las áreas.

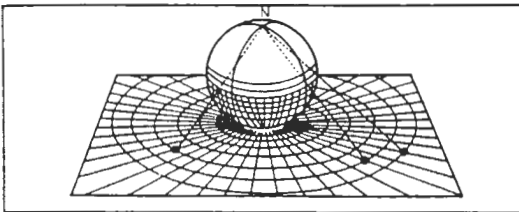


Figura 34

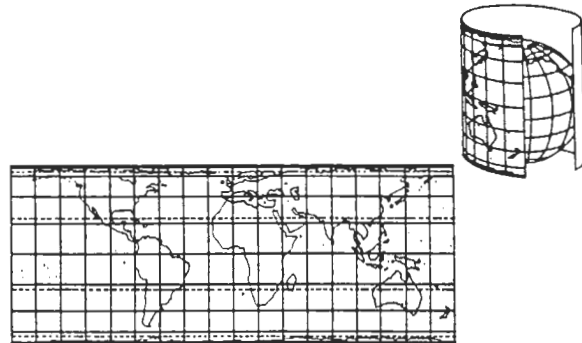


Figura 35



3. Algunas Conclusiones.

A lo largo de las páginas anteriores parece que se descubre una realidad que aparentemente poco tiene que ver con los tópicos de algunos especialistas en Historia de la Ciencia griega. Estos han opinado que los griegos nunca prestaron atención al desarrollo de la Tecnología y a las aplicaciones prácticas de sus conocimientos teóricos. Sin embargo, podemos reconocer el impresionante legado de innovaciones técnicas que aportaron, sobre todo en su última etapa helenística. ¿Qué ha ocurrido entonces para que todas las máquinas y aparatos ideados por ingenieros como Ctesibius o Herón desaparecieran y no tuvieran una continuación entre los trabajos de sus seguidores?

Se conocen muchas respuestas a esta pregunta. En opinión de A. P. Usher (pp. 100-101), los artilugios griegos aparecen más como "perfeccionamientos" que como "innovaciones" y se producen en una sociedad *nada interesada en el cambio tecnológico*. Esta idea concuerda con el hecho señalado en la introducción de que el desarrollo de la sociedad esclavista griega no precisaba adelantos técnicos, pues le bastaba con la fuerza bruta que aportaban sus esclavos. Por otra parte, la propia mentalidad griega y su escurridiza concepción de la belleza y de la armonía se aleja de las aplicaciones materiales (recordar la cita de Plutarco en 2.1.).

En todo caso, encontramos una causa exclusivamente técnica que incidió en el corto desarrollo de la Tecnología griega. Se trata de la carencia de conocimientos físicos que pudieran explicar con precisión el funcionamiento de sus máquinas y



aparatos. Unida a la escasa operatividad del sistema de numeración alfanumérico, al perfil especulativo de su Ciencia y a los métodos abstractos de su Matemática, hallamos la ineficacia de su Ciencia en el momento que necesitaba explicar los mecanismos prácticos.

Con todo ello la discusión no se agota en estas escuetas explicaciones; pues quedan en el aire preguntas que merecen respuestas más documentadas. Así:

¿Por qué el desarrollo técnico que alcanzó Grecia en su Epoca Helenística no se tradujo en una mejora generalizada de su Cultura Material?

¿Por qué desecharon los griegos avances notables en Metrología, sistemas de numeración o cálculos astronómicos de origen oriental, empeñándose en mantener unos rudimentarios conocimientos en estas áreas?

¿A qué es debido que inventos imprescindibles en el desarrollo económico de una sociedad mercantil, como son: el molino de viento, el estribo, la collera o el arado de vertedera, tuvieran que esperar a la Edad Media para que se descubrieran y desarrollaran, cuando sus fundamentos técnicos ya eran conocidos por los propios griegos?

4. Bibliografía.

Aracil, J. (1986) *Máquinas, sistemas y modelos*, Tecnos, Madrid.

Bochner, S. (1991) *El Papel de la Matemática en el desarrollo de la Ciencia*, Alianza Editorial, Madrid.

Boyer, Ch. B. (1986) *Historia de la Matemática*, Alianza Universidad Textos, Madrid.

Caro Baroja, J. (1988) *Tecnología popular española*, Mondadori España, S. A., Madrid.



Coll, P. (1986) *Esto ya existió en la Antigüedad*, Ediciones Orbis, S. A., Barcelona.

Crónica de la Técnica, (1989) Plaza & Janés Editores S. A., Barcelona,

Derry, T. K. - Williams, T. I. (1986) *Historia de la Tecnología*, Siglo Veintiuno de España editores S. A., Madrid.

Farrington, B. (1986) *Ciencia y Filosofía en la Antigüedad*, Editorial Ariel, Barcelona.

Forbes, R. J. (1965) *Studies in Ancient Technology*, E. J. Brill, Leiden,

García Franco, S. (1957) *La Legua Náutica en la Edad Media*, Instituto Histórico de la Marina, Madrid.

García Franco, S. (1959) *Instrumentos Náuticos en el Museo Naval*, Imprenta del Ministerio de Marina, Madrid.

Heath, Th. (1981) *A History of Greek Mathematics*, Dover, New York.

Iffrah, G. (1981) *Histoire Universelle des Chiffres*, Seghers, París.

Leroi-Gourhan, A. (1988) *El Hombre y la Materia*, Taurus Comunicación, Madrid.

Neugebauer, O. (1969) *The Exact Sciences in Antiquity*, Dover, New York,

Saigey, N. (1834) *Traité de Métrologie ancienne et moderne, suivi d'un précis de Chronologie et des signes numériques*, París.

Sambursky, S. (1990) *El mundo físico a finales de la Antigüedad*, Alianza Editorial, Madrid.



Usher, A. P. (1982) *A History of Mechanical Inventions*, Dover, New York,

Vázquez Queipo, V. (1859) *Essai sur les systèmes Métriques et Monétaires des anciennes peuples depuis les premiers temps historiques jusqu'à la fin du khalifat d'Orient*, Paris.

Wexb, J. (1886) *Métrologie grecque et romaine*, Paris.

Zavelski, F. (1990) *Tiempo y su medición*, Editorial Mir, Moscú.