



Ing. SVIATOSLAV KROCHIN

ÁREA HISTÓRICA  
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

## ARQUIMEDES

## La Cultura Griega.

Ningún pueblo del mundo antiguo ha tenido tanta fama ni ha inspirado tanto respeto como el de los griegos y verdaderamente su cultura fue una de las más extraordinarias de la historia.

Tal vez por este motivo muchas veces se lo ha idealizado demasiado dándonos una imagen romántica pero falsa.

En realidad los griegos, igual que otros pueblos, tenían defectos y vicios, algunos de ellos todavía de mucha actualidad entre nosotros. Así la lucha por el poder originaba feroces conflictos políticos, sobornos y bárbaras campañas de difamación. El infanticidio, el suicidio y las perversiones eran tolerados y a veces hasta aprobados. Las mujeres ocupaban un puesto secundario, no salían de sus casas y las únicas admitidas en público, eran las hetairas. La decantada democracia consistía en el poder de un puñado de representantes pisoteando a multitudes de ilotas y esclavos.

A pesar de lo dicho, los griegos, o para ser más exacto, los que pertenecieron a la clase libre, tuvieron méritos tan grandes, que ante la historia solamente las virtudes resaltan.

En efecto, el amor a la vida, la delicia en el uso de la mente y del cuerpo que caracterizaron a los griegos, produjeron un extraordinario florecimiento del espíritu humano que no ha sido igualado por otros pueblos.

Los griegos, fueron un pueblo libre, enemigo del melodrama y de la ostentación, amante de la belleza y de la razón, lo que hizo de ellos los primeros intelectuales en un mundo irracional.

En todo el resto del mundo antiguo, en Egipto, en Babilonia y en la India, la situación era diferente. Se tenía un

déspota entronizado cuyos caprichos y pasiones eran factor determinante en el estado; un pueblo subyugado y miserable y una gran organización sacerdotal que monopolizaba los conocimientos como instrumento de la religión. En estos países, tratar de comprender el porqué de las cosas equivalía a un acto de soberbia ante los dioses y se consideraba un sacrilegio.

Los griegos fueron el primer pueblo que no tuvo casta sacerdotal, ni preocupación por el pecado, ni libros sagrados con dogmas inviolables.

Los griegos fueron los primeros que no sólo se limitaron a observar los hechos sino que también trataron de descubrir las causas de los fenómenos y sus relaciones entre sí. Es por eso que las ciencias tuvieron un desarrollo formidable y, como en muchos otros aspectos de la cultura, tenemos que volver nuestros ojos hacia Grecia para descubrir el origen de muchas de ellas. Así podemos decir que Euclides fue el fundador de la Geometría, Hipócrates el de la Medicina, Aristóteles el de la Lógica y las Ciencias Naturales, Demócrito el de la Teoría Atómica, etc. Entre todos estos grandes sabios se destaca Arquímedes, que se considera el fundador de la Mecánica y de la Hidrostática, aunque sus contribuciones a la ciencia comprendían la Física y las Matemáticas en general.

Pero hay una característica que diferencia a Arquímedes de los demás. El mundo antiguo produjo sabios como Heráclito o Lucrecio que especulaban brillantemente sobre la naturaleza de las cosas. Arquímedes fue uno de los primeros que no especulaba, sino que formulaba leyes exactas y las ponía a prueba como los científicos de hoy.

### **Datos Biográficos.**

Arquímedes nació en el año 287 A. C. en Siracusa, próspera capital del estado de Sicilia. Esta ciudad, la más grande de las fundadas por los colonizadores griegos, junto con Alejandría, Antioquia, Seleucia, Pergamo y Rodas era uno de los principales centros de cultura helénica. Tenía anchas calles pavimentadas, y amplias plazas, llenas de abigarradas multitudes. Espléndidos edificios públicos, palacios y templos, casas de piedra de varios pisos, puentes y excelente canalización la hacían semejante a las ciudades actuales.



La cultura era el distintivo de este mundo helénico. Había una gran cantidad de sabios que se dedicaban al estudio de la astronomía, las matemáticas y la mecánica, y los resultados del mismo se aplicaban para fines prácticos. También se recopilaba y se hacía investigaciones sobre el material dejado por griegos, egipcios, babilonios y otros pueblos. Innumerables copias de las grandes creaciones del arte griego, eran parte inseparable de la decoración doméstica. En Literatura, además de los clásicos como Homero, Platón, Herodoto, etc., aparecieron los géneros idílico y bucólico. Siracusa produjo algunos hombres notables entre los que están los poetas Mosco y Teócrito, este último nacido pocos años antes de Arquímedes y probablemente amigo de éste.

Se sabe muy poco de la juventud de Arquímedes pero los historiadores concuerdan en que debe haber sido un pariente cercano al Rey Hierón II y que por lo tanto se crió en un hogar aristocrático y rico. De todos modos fue un amigo íntimo tanto del rey como de su hijo Gelón. La familia de Arquímedes, originaria de Corinto, se había establecido desde mucho tiempo atrás en el reino de Sicilia y gozaba del respeto general. El joven Arquímedes creció en un medio culto y su primera instrucción la recibió de su Padre Fidas, quien fue un notable astrónomo.

La niñez de Arquímedes transcurrió en tiempo de guerra. Tenía ocho años cuando el ejército y la flota de Cartago, —entonces aliada de Roma— sitiaron la ciudad, y once años cuando Pirro, sucesivamente salvador y tirano de Siracusa, tuvo que abandonarla. Recién cinco tumultuosos años más tarde, Hierón fue elegido rey y durante casi la totalidad de sus cincuenta y cuatro años en el poder logró mantener la paz.

En su juventud, Arquímedes viajó a Alejandría, que, después de la decadencia de Atenas, ocupaba el puesto de centro de la cultura del mundo occidental.

Esta ciudad fue construída en el año 332 A. C. por Alejandro el Grande siguiendo los planes del gran ingeniero y arquitecto griego Dinocarou y en pocos años creció hasta llegar a ser una de las más grandes e importantes de esa época. Tenía una serie de construcciones notables, entre las cuales se destacaban la tumba de Alejandro y el famoso faro, una torre de mármol de 120 m. de alto, extraordinaria

obra de ingeniería y una de las siete maravillas del mundo antiguo.

Los primeros reyes Ptolomeos, no contentos con gobernar la nación más opulenta de la tierra, quisieron crear en la recién fundada Alejandría un hogar para la vida intelectual griega. Para esto fue establecida la famosa Biblioteca y el Museo, que fue un centro de enseñanza científica y al cual se atrajo a los más famosos sabios de Grecia.

El Museo o templo de las musas, fundado siguiendo el modelo de la Academia de Platón, era una institución especial en la cual los sabios y los poetas podían vivir a costa del estado, libres de todo cuidado, para poder dedicarse enteramente a sus labores de creación e investigación.

Al Museo de Alejandría afluían desde tierras lejanas gentes ávidas de conocimientos. Entre estos estaba Arquímedes, quien pudo haber estudiado bajo la dirección de los famosos sabios Euclides y Diofante o de algunos de sus discípulos. Se sabe que allí se encontró con gente notable como el poeta Calímaco, los matemáticos Canon de Samos, Dositeo y otros que llegaron a ser amigos de toda su vida. De entre estos, uno de los más sobresalientes fue Aristarco de Samos (310-230) quien fue el primero en declarar que era el sol y no la tierra el centro del sistema solar, anticipándose en 1.800 años al gran astrónomo polaco Copérnico. Siglos más tarde su teoría fue desechada e ignorada por considerársela sacrílega.

Otro fue el famoso matemático y geógrafo Eratostenes (276-194), quien calculó el diámetro de la tierra en 12.600 Km. cometiendo un error en defecto de apenas 1 % respecto al valor conocido actualmente. A la muerte de Calímaco, fue nombrado para reemplazarlo en la dirección de la Biblioteca.

No se sabe cuanto tiempo permaneció Arquímedes en Alejandría, probablemente unos 3 o 4 años. Después de esto, parece que viajó mucho visitando otros países, entre ellos Grecia y España. Pero finalmente se estableció definitivamente en Siracusa, su ciudad natal.

Se conocen los amigos pero prácticamente nada de la vida personal de Arquímedes. Habrá tenido amantes, probablemente una esposa y tal vez hijos. Pero sobre esta parte de su vida no se tiene datos y es porque para los griegos no tenía importancia por ser una cosa natural para cada hombre y que se daba por sobreentendida.



Entre los artistas, músicos y poetas, el amor, especialmente el desgraciado, parece ser uno de los principales móviles que los impulsa a la creación. Este no es el caso de los sabios que crean y descubren sin necesidad de este estímulo. Especialmente tratándose de los griegos para los cuales un amor tipo Dante-Beatriz sería inconcebible.

Por esto, la biografía de Arquímedes no contiene ninguna anécdota del tipo romántico. Lo que vale en la vida de un hombre es su obra. Esta es la huella que deja de su paso por el mundo y esto es lo que se recuerda de él.

### **El Tornillo Hidráulico.**

Arquímedes llegó a destacarse tanto en sus estudios en Alejandría que el rey Ptolomeo II le encargó la desecación de una región pantanosa del Delta. Arquímedes no defraudó la confianza depositada en él y ejecutó el trabajo en poco tiempo. Lo hizo por medio de un sistema de diques y de su primer invento, el tornillo hidráulico. Consiste este en una espiga helicoidal situada en un cilindro dentro del cual gira. Colocado el aparato en forma inclinada con la base sumergida en el agua que se quiere extraer, el movimiento del tornillo eleva el líquido que se va depositando por la ley de la gravedad en la parte interior de cada espira y elevándose con cada revolución hasta salir por la parte superior en forma continua. Hay que anotar que esta espiral de Arquímedes no solamente se ha usado hasta nuestros días, especialmente en Egipto o India, sino que se está todavía fabricando (como por ejemplo por la Casa Spaans de Holanda) pues en ciertos casos reemplaza ventajosamente a otros tipos de bombas.

### **El Principio de Arquímedes.**

Ya de regreso en Siracusa, Arquímedes descubrió el famoso principio que lleva su nombre. Según la historia, el rey Hierón había encargado una corona a su joyero, entregándole para esto una cierta cantidad de oro. Pero al recibir la corona, el rey sospechó que el joyero le había engañado sustituyendo parte del oro por plata. Encargó entonces la resolución del problema a Arquímedes con la condición de descubrir el fraude dejando intacta la joya. El sabio reflexionó durante algún tiempo sin poder dar con la solución.

Un día mientras estaba en el baño observó que sus miembros sumergidos en el agua perdían parte de su peso y que podía moverlos con mayor facilidad que en el aire. Este fue el rayo de luz que le permitió descubrir el principio que dice: "Todo cuerpo sumergido en un fluido pierde una parte de su peso igual al volumen del fluido desalojado". Fue tal el entusiasmo que le causó el descubrimiento que salió del baño y echó a correr desnudo por las calles gritando "Eureka, Eureka" que quiere decir en griego: "Lo he encontrado". En efecto había hallado el medio de determinar el peso específico de los cuerpos tomando el del agua igual a la unidad.

Con esto pudo construir una balanza hidrostática y descubrir el fraude del joyero. La historia del joyero no tiene ninguna importancia pues es un caso más de la falta de honradez humana que desgraciadamente se repite continuamente. Pero el principio de la Hidrostática descubierto sigue válido hasta nuestros días, como también los estudios de Arquímedes sobre la estabilidad de los barcos.

Para las personas irreflexivas muchos de los fenómenos naturales parecen obvios y no necesitan explicación.

Por ejemplo algunos cuerpos como la madera flotan en el agua mientras que otros como el hierro se hunden. Pero el hierro también flota a veces como en el caso de los barcos. El descubrimiento de que la habilidad de flotar depende no sólo del peso sino también del volumen, fue hecho por Arquímedes. En una forma concisa él desarrolló una teoría de la flotación que nunca tuvo que ser cambiada ni mejorada.

Su tratado "Estudio sobre los cuerpos flotantes" fue el primer tratado hidráulico escrito en el mundo. Después de él esta ciencia quedó prácticamente estacionaria y se necesitó que pasen 17 siglos para que Leonardo de Vinci haga otra aportación importante.

Durante el Renacimiento, muchos técnicos italianos estaban ocupados con el problema de por qué muchos barcos se viraban y se hundían mientras se los estaba cargando o descargando. Las catástrofes eran tan frecuentes que Cosme II de Medicis organizó una discusión sobre este tema entre Galileo y los profesores de la Universidad de Florencia.

Aristóteles había dicho que la capacidad flotante de los cuerpos depende solamente de su forma y que un cuerpo en forma de una plancha suficientemente delgada se man-



tendría en la superficie del agua, cualquiera que fuera la sustancia de la que estuviera hecho. Aunque era fácil comprobar lo contrario, la fe absoluta en la autoridad de Aristóteles había cegado a los profesores.

Galileo conocía las obras de Arquímedes a quien consideraba el más grande de los matemáticos y cuyas obras le habían impresionado por la profundidad de su pensamiento y la elegancia de la exposición. Pudo por lo tanto con una serie de razonamientos y experimentos demostrar que era Arquímedes el que tenía la razón.

Lo triste del caso es que fue necesario que pasen casi dos mil años entre el descubrimiento de un principio y su aceptación general. Se podría preguntar cuantas otras verdades existen, igualmente obvias y evidentes, que no se las acepta por respeto a la autoridad o, lo que es lo mismo, por pereza mental.

En su discusión sobre los fluidos, Arquímedes asume que la tierra es una esfera. Consecuentemente anota (en la Proposición 2) que un fluido en reposo adoptará una superficie esférica cuyo centro de curvatura será el mismo que el de la tierra. Este es un hecho que vale la pena mencionar pues a veces se asume que antes de Colón todo el mundo pensaba que la tierra era plana. En realidad el hecho de la esfericidad de la tierra era conocido por los antiguos por lo menos desde Aristóteles. Este conocimiento fue aparentemente olvidado en la Edad Media y tuvo que ser resucitado en el Renacimiento.

### **Las Investigaciones Mecánicas.**

Algún tiempo después, Arquímedes hizo una considerable aportación a la Mecánica con sus estudios sobre palancas, poleas, ruedas dentadas, tornillos sin fin y otros dispositivos para multiplicar la fuerza efectiva. Es célebre su frase de: "Dadme un punto de apoyo y una palanca apropiada y moveré el mundo" Parece que el rey Hierón demostró un cierto excepticismo y entonces Arquímedes construyó un sistema de Palancas con el cual pudo levantar un barco con una sola mano.

Sus descubrimientos los resumió en 25 proposiciones expuestas en dos libros llamados "sobre el equilibrio de los planos" en los que establece la determinación de centros de gravedad y el principio de la palanca.



Este último es aparentemente evidente y conocido de todo niño que alguna vez jugó con un "sube y baja". Dice en esencia que una fuerza pequeña puede contrarrestar a una grande con la condición de estar a una distancia mayor del centro alrededor del cual gira el sistema.

El mérito de Arquímedes no está en descubrir el principio (que probablemente era conocido mucho antes de su tiempo) ni en verificarlo experimentalmente sino en establecer las leyes básicas de la estática y en derivar de ellas la relación matemática entre fuerzas y distancias.

### **El Barco de Hierón.**

De acuerdo a lo que escribe Ateneo en su obra enciclopédica el "Festín de los Sofistas", Arquímedes fue también un experto constructor de barcos.

En el año 252 A. C. el rey Hierón decidió construir el barco más grande del mundo, nombrando a Arquímedes ingeniero jefe de la obra. El barco fue en realidad gigantesco para la época y de gran lujo. Tenía capacidad para una carga de 2.000 toneladas sin contar con las bodegas para los alimentos de 3.000 hombres. Estaba provisto no solamente de cisterna para agua potable y piscina para peces sino de servicios poco usuales como biblioteca, gimnasio, baños calientes, pesebre para veinte caballos y hasta un jardín.

La construcción duró un año y trabajaron en ella trescientos maestros artesanos, sin contar los obreros no especializados. El rey no escatimó gastos e hizo traer los materiales necesarios, de todas partes del mundo: maderas de Italia, cáñamo de España y brea de Galia. Un santuario de Afrodita tenía las puertas hechas de marfil y el piso de ágata.

El barco estaba destinado al comercio, pero en caso de necesidad podía servir también en la guerra. Para este fin tenía ocho torres, dos en la proa dos en la popa y las demás a lo largo de los lados cada una con capacidad para 6 guerreros.

Entre las torres iba una muralla detrás de la cual se ubicaban 120 arqueros. Además el barco tenía una catapulta que podía lanzar piedras de 75 Kg. de peso a una distancia de 160 metros.

Al barco se le llamó la Siracusana, nombre que fue posteriormente cambiado a Alejandría cuando se lo regaló al Rey Ptolomeo de Egipto.

## La Ecuación Cúbica.

La única ciencia a la cual Arquímedes se dedicó por completo fue la de las matemáticas y dio poca importancia a las demás, como lo demuestra el hecho que no escribió nada de sus inventos no matemáticos a pesar de que fueron éstos los que le hicieron una figura legendaria de un extremo a otro del mundo antiguo.

Refiriéndose a las investigaciones prácticas de Arquímedes, Plutarco dice:

"El poseía un espíritu tan elevado, un alma tan profunda y tales tesoros de conocimientos altamente científicos, que aunque estos inventos le han ganado el renombre de tener una sagacidad mayor que la humana, no se dignó dejar ningún comentario o escrito sobre los mismos".

Desde hace siglos antes de nuestra era los matemáticos egipcios sabían resolver sistemas de ecuaciones de primer grado. Los antiguos babilónicos fueron un poco más lejos y llegaron a resolver algunas ecuaciones de segundo grado.

La innovación de los griegos consistió en introducir métodos geométricos con los cuales, sumando superficies limitadas por líneas rectas y arcos de círculo, obtenían los resultados de ecuaciones tanto de primero como de segundo grado.

Sin embargo el famoso problema de la duplicación del cubo no era resoluble con este método.

Dice la leyenda que una vez que una epidemia azotaba Grecia y consultado el oráculo, este indicó que había que duplicar un altar de forma cúbica del templo de Apolo en Delos. O sea, había que resolver la ecuación:

$$X^3 = 2a^3$$

Por primera vez el caso general

$$X^3 = a^3b$$

que se reduce al anterior si  $b = 2a$ , fue resuelto por Menecmo en 360 A. C., utilizando para esto secciones cónicas; Arquímedes llevó el estudio más allá en su tratado "De la esfera y el cilindro" en el que investiga las relaciones entre segmentos esféricos, que lo condujeron a ecuaciones cúbicas.



En otro tratado parece que había hecho un estudio completo de la ecuación

$$X^3 + r = pX^2$$

pero lamentablemente la obra se ha perdido y sólo se conservan fragmentos de la misma en los escritos de matemáticas posteriores.

Los estudios de Arquímedes tuvieron una gran importancia para impulsar el desarrollo de las matemáticas entre los Arabes, particularmente por el sabio Omar al Khayam (1048 - 1131).

### Los números grandes.

En el tiempo de Arquímedes las matemáticas consistían en una forma elemental de la aritmética y de la geometría plana tal como se enseña actualmente en los colegios. El genio de Siracusa hizo descubrimientos tan grandes en ambos campos que se habrían ahorrado quince siglos de esfuerzos si sus escritos no hubieran sido ignorados.

En el mundo antiguo, la aritmética estaba tremendamente complicada por la incómoda manera de escribir los números. Esto es fácil de comprender si se trata de realizar una simple multiplicación usando números romanos.

Arquímedes inventó un sistema cómodo y compacto de números con los cuales podía tanto realizar una serie de operaciones aritméticas incluyendo la extracción de la raíz cúbica como expresar cantidades tan grandes como la unidad seguida de ochenta ceros, una hazaña imposible con la nomenclatura griega y romana y difícil hasta con los números arábigos antes de la invención de los logaritmos en el siglo XVI.

El problema de la representación de cifras muy grandes le pareció tan interesante que dedicó todo un tratado al asunto y que llamó "El contador de arena". En él verifica que un número no es infinito por el sólo hecho de ser enorme.

En un pasaje de la introducción a la obra dice: "Hay algunos, Rey Gelón, que piensan que el número de granos de arena es infinito en multitud y yo me refiero a la arena que existe, no sólo en las proximidades de Siracusa y en el resto de Sicilia, sino también a la que se encuentra en otras regiones, ya sean habitadas o no. Por otra parte hay algunos

que sin considerarlo como infinito, piensan que aún no se ha fijado un número lo suficientemente grande como para exceder su multitud. Y es claro que aquellos que sostienen este punto de vista, si imaginasen una masa formada por arena, tan grande como la masa de la tierra, incluyendo en ella todos los mares y las depresiones, llenos hasta una altura igual a la de la montaña más alta tendrían mayores dificultades para reconocer que podría expresarse algún número lo suficientemente grande, como para exceder la multitud de la arena así tomada. Pero trataré de probarle mediante demostraciones geométricas que Ud. podrá seguir, que de los números nombrados por mí e indicados en la obra que envié a Zeuxippus, algunos exceden no sólo el número existente en una masa de arena igual en volumen a la tierra rellena en la forma descrita, sino también la de una masa igual en magnitud al Universo".

Arquímedes concluye diciendo: Por lo tanto es evidente que el número de granos de arena contenidos en una esfera tan grande como la limitada por las estrellas fijas y cuyo diámetro ha sido determinado por Aristarco es menos de mil miriadas de unidades de la octava clase.

¿Qué quería decir con la unidad de octava clase? La miriada griega equivalía a diez mil y Arquímedes la llamó unidad de primera clase. La miriada de miriadas ( $10^8$ ) la llamó octada o unidad de segunda clase. Tomando entonces la octada como base de cálculo, una unidad de clase sería igual a la octada a la potencia  $n-1$ .

De esta manera tenemos que el resultado obtenido por Arquímedes es un número fabuloso e igual a:

$$10^3 \times 10^4 \times (10^8)^7 = 10^{63}$$

No deja de presentar interés el hecho de que transformando a volumen los granos de arena, el tamaño del Universo según Arquímedes era  $10^{66}$  centímetros cúbicos.

De acuerdo con los datos astronómicos modernos, el diámetro de una galaxia promedia es de 100.000 años luz lo que da un volumen de  $10^{68}$  centímetros cúbicos, mientras que el volumen de una esfera de diámetro igual a la de la órbita de Plutón sería de alrededor de  $10^{47}$  centímetros cúbicos. O sea, que la cifra presentada por Arquímedes no está lejos de la realidad a pesar de que en su tiempo no se contaba con telescopios, ni con todos los métodos modernos disponibles en la actualidad.



Debe indicarse que aunque bien versado en Astronomía, "la reina de las ciencias" de la antigüedad, parece que Arquímedes tenía poco interés en ella. Su única contribución conocida ahora, fue aplicar su maravilloso ingenio mecánico a la construcción de un modelo que mostraba los movimientos del sol, la luna y los cinco planetas visibles de acuerdo a las ideas de entonces. En alguna forma este primer "planetario" del mundo sobrevivió alrededor de un siglo y medio y fue posteriormente descrito por Cicerón en una de sus oraciones.

### El Cálculo de Pi.

En geometría sus ideas fueron aún más revolucionarias. Pitágoras y otros matemáticos de la edad de oro de Grecia habían reducido la geometría a una especie de juego de salón que debía jugarse según una serie de reglas preestablecidas. Los únicos instrumentos permitidos eran una regla y un compás. Se entiende por regla un instrumento de dibujo que permite trazar líneas rectas pero no medir longitudes. En esta forma la geometría se había transformado en un ejercicio de lógica formal y no servía para resolver problemas prácticos. Arquímedes tenía la idea moderna de que las matemáticas debían ser usadas para resolver problemas y que cualquier sistema que ayudara a hacerlo era bueno, esté o no de acuerdo a las reglas de Pitágoras.

Los griegos tenían tres problemas insolubles envueltos en todo el esplendor legendario de la mitología y que eran la duplicación del cubo, la trisección de un ángulo y la cuadratura del círculo, siendo este último el más famoso en toda la historia de las matemáticas.

El tercer problema consiste en construir un cuadrado de área igual a la de un círculo de diámetro conocido. Así midiendo el cuadrado podemos encontrar también el área del círculo.

Si tenemos un círculo de radio  $R$ , el lado de un cuadrado de superficie igual debe tener una longitud igual a

$$a = R \sqrt{\pi}$$

o sea que en otras palabras, el problema se reduce a encontrar el valor de Pi.

Los matemáticos egipcios en el siglo XVIII antes de nuestra era ya habían tratado de resolver el problema asignándole un valor igual a

$$\sqrt{10} = 3,16$$

o sea cometiendo un error de apenas 1 % en exceso.

La Biblia da una solución mucho menos perfecta. En efecto, en el Libro Segundo de Crónicas (IV-2) refiriéndose a lo que hizo Salomón durante la construcción del templo dice: "Y una gran concha o pila de bronce fundido, que tenía diez codos de diámetro, redonda perfectamente; cinco codos tenía de profundidad y un cordoncillo de treinta codos abrazaba toda su circunferencia".

La descripción se repite en Reyes (7-23) e indica que los Judíos consideraban el valor de Pi igual a 3.

Arquímedes calculó el valor de Pi o sea la relación entre la circunferencia y el diámetro con un método que lo llevaría a uno de los más grandes descubrimientos matemáticos de todos los tiempos.

El método consistía en dibujar polígonos regulares con un número creciente de lados fuera y dentro de un círculo. Si por ejemplo se inscribe un triángulo equilátero en un círculo, el área del triángulo será menor que el área del círculo. El área de un triángulo circunscrito será en cambio mayor que la del círculo.

Se ve fácilmente que si se duplica el número de lados de los triángulos transformándolos en exágonos las áreas seguirán siendo menores para el inscrito y mayores para el circunscrito, pero la diferencia con la del círculo habrá disminuído. Por métodos geométricos simples y muy conocidos, empleando solamente regla y compas puede duplicarse tantas veces cuantas se quiera el número de lados de los polígonos inscritos y circunscritos y sus superficies irán acercándose cada vez más a la del círculo. En otras palabras el círculo es el límite de estas dos series de polígonos. Si el radio del círculo es igual a la unidad su área será igual a Pi.

Arquímedes mediante polígonos de 96 lados demostró

que Pi tiene un valor que debe estar entre  $3 \frac{1}{7}$  y  $3 \frac{10}{71}$  o sea

alrededor de 3,1418.



Teóricamente este método de aumentar los lados de los polígonos puede extenderse infinitamente pero los cálculos necesarios se hacen muy engorrosos.

A pesar de esto, durante la Edad media y el Renacimiento estos cálculos fueron realizados apasionadamente. El matemático francés Vieta determinó el valor de  $\pi$  con diez cifras decimales.

En 1.656 el matemático alemán Ludolf Van Ceulen calculó  $\pi$  con 35 decimales. En recuerdo de su hazaña los alemanes llaman todavía a  $\pi$  el número ludolfiano. Parece más justo llamarlo número arquimediano. En 1.873 el matemático inglés Shanks determinó el valor de  $\pi$  con 707 decimales. En realidad, toda esta precisión es completamente innecesaria.

### El cálculo integral y diferencial.

Arquímedes vio también que este método de aproximación podría ser aplicado en muchos problemas. Por ejemplo el área del círculo puede ser calculada dividiendo el círculo en franjas rectangulares inscritas o circunscritas. Mientras más franjas se tomen la suma de las áreas se aproxima más al área del círculo.

Partiendo de allí, desarrolló un método para encontrar el área o volumen de cualquier superficie o sólido. Pero esto es lo que se hace exactamente en el cálculo integral inventado por Newton y Leibnitz en el Siglo XVII. Como dijo Eric Temple Bell, el historiador de los matemáticos, Arquímedes se hubiera entendido perfectamente con Newton y, con un pequeño curso en Matemáticas y Física, no hubiera tenido dificultades en entender a Einstein, tal vez mejor que sus contemporáneos.

Arquímedes usó su método para el mismo tipo de problemas para los cuales los ingenieros y físicos usan actualmente el cálculo integral, es decir para encontrar centros de gravedad y momentos de giro para toda clase de cuerpos y estructuras desde esferas y cilindros hasta barcos. En esta forma se resolvieron prácticamente todos los problemas matemáticos de su tiempo. Su demostración de que el volumen de la esfera es igual a los  $\frac{2}{3}$  del volumen del cilindro circunscrito se consideró uno de los descubrimientos más grandes, y según la tradición se esculpieron en su tumba los dos sólidos para conmemorarlo.

Indudablemente el método de Arquímedes anticipó la técnica del cálculo, pero, en los siglos comparativamente estériles que siguieron, la sumilla que plantó, no logró germinar. Hasta la aparición de Kepler no se registró tentativa alguna de tratar sistemáticamente la determinación de áreas y volúmenes de figuras curvilíneas.

Así como inventó el cálculo integral se puede decir que en algunos de sus problemas se anticipó al cálculo diferencial. La espiral que lleva su nombre es una curva formada por la trayectoria de una partícula que recorre con velocidad constante una recta que gira con velocidad angular uniforme alrededor de un punto. Arquímedes desarrolló un método para poder trazar la tangente en cualquier punto a esta curva. Pero la solución de este problema, para cualquier curva y no sólo para la espiral, es justamente la derivación o sea la base del cálculo diferencial.

### **Suerte de las obras de Arquímedes.**

Por una ironía del destino, los grandes descubrimientos de Arquímedes fueron completamente olvidados, aunque él los describió cuidadosamente en varios volúmenes y a pesar de haber sido venerado en todas partes como "el gran geómetra" y "el sabio". Cuando sus manuscritos fueron descubiertos siglos más tarde, otros ya habían descubierto lo mismo o estaban a punto de hacerlo.

Actualmente, entre fragmentos y tratados completos, se conocen las siguientes obras:

- 1.—Estudio de los cuerpos flotantes
- 2.—Equilibrio de Planos
- 3.—El contador de Arena
- 4.—De la esfera y el cilindro
- 5.—Mediciones del círculo
- 6.—De los conoides y esferoides
- 7.—De las espirales
- 8.—De la cuadratura de la parábola.

Algunas obras se han conservado solamente en versión árabe como:

- 9.—Lemas
- 10.—De los heptágonos
- 11.—De los círculos tangentes



y de otros se conoce solamente el título como:

12.—De las líneas paralelas

13.—Carta a Eratóstenes sobre problemas de Mecánica.

La primera traducción al latín de las obras de Arquímedes fue realizada en el siglo trece y aún ésta fue publicada por Tartaglia recién en el año 1543.

Varias razones podrían explicar la poca difusión de las obras de Arquímedes, pero probablemente fueron principalmente dos.

La una fue el triunfo de Roma, que en este tiempo comenzaba a crecer como una mala hierba, ahogando a su paso todo lo que no servía directamente a su engrandecimiento.

En realidad, a los romanos no les interesaba la ciencia y más bien la miraban con bastante sospecha, como lo demuestra el hecho de que, en los muchos siglos de la existencia del Imperio Romano, éste no produjo ni un solo matemático, físico o astrónomo.

Incluso en las artes y literatura, los romanos fueron y quedaron como discípulos e imitadores de los griegos, sin exceptuar a los más notables como Virgilio y Horacio.

Mientras los griegos eran investigadores y amantes de la belleza, los romanos fueron eminentemente prácticos y amantes de la pompa. Es por eso que se concretaron a hacer edificios públicos y esculturas de hombres de estado o alto-relieves conmemorativos de proezas militares.

En cuanto a la ciencia, se consideró suficiente la aritmética, la topografía y ciertas nociones elementales de la ingeniería indispensables para la construcción de caminos, acueductos y puentes.

La segunda razón fue la mala suerte de la biblioteca de Alejandría.

Cuando César, uno de los más grandes hombres que tuvo Roma, ocupó Alejandría, tuvo que ordenar prender fuego a la flota egipcia para precaverse de un ataque. Lamentablemente el incendio se propagó a la ciudad, sin que César lograra contenerlo y en corto tiempo la biblioteca, con miles de papiros y de textos sagrados por su contenido científico y cultural, fue víctima de las llamas.

En 391 y 392 el Emperador Teodosio el Grande publicó dos edictos en los cuales se prohibía el culto antiguo, tanto

públicamente como en privado. La estatua de la Diosa Victoria fue retirada de la sala de sesiones del Senado, el fuego sagrado en el templo de Vesta fue apagado y se suspendieron los juegos olímpicos dedicados a Zeus.

Los que no renunciaron a su religión "pagana", fueron cancelados de los cargos públicos, sus propiedades fueron confiscadas y sus templos, destruidos.

Teófilo, Obispo de Alejandría, cumplió las órdenes imperiales con un celo digno de mejor causa. Las turbas cristianas, llenas de feroz odio hacia todo lo que era ciencia, asaltaron el templo de Serapis, donde se guardaba parte de la famosa biblioteca de Alejandría. En un solo día fueron quemados más de 400.000 volúmenes que contenían los tratados de los más grandes sabios del mundo antiguo.

Tres siglos más tarde, la Biblioteca fue nuevamente quemada; esta vez por el Sultán Omar, que justificó su decisión diciendo que si los libros contenían algo que ya estaba escrito en el Corán, eran superfluos y si contenían algo que no estaba escrito, eran falsos.

No sabemos cuántas copias valiosas de los trabajos de Arquímedes y de otros sabios de la antigüedad, se perdieron en estos incendios sucesivos.

### **El Carácter Griego.**

Arquímedes tuvo un carácter típicamente griego y por eso jamás atribuyó mayor importancia a sus invenciones prácticas. A los griegos les gustaba estudiar, argumentar, etc., pero les parecía denigrante el trabajo manual. Para eso estaban los esclavos y los animales. Un hombre libre debía contentarse con encontrar la verdad, pues el momento en que buscaba una aplicación práctica a su conocimiento puro, éste perdía su belleza. Esta característica no impidió el desarrollo de la ciencia, pero contribuyó a formar una imagen falsa de la cultura griega, que tuvo grandes repercusiones.

Las notables contribuciones de los griegos en el campo de la literatura, el arte y la filosofía eclipsaron las no menos notables contribuciones científicas y originaron la idea, muy extendida hasta nuestros días, de que las primeras son un fruto más notable del intelecto humano que las segundas. Este desprecio hacia la ciencia en general, pero en especial a la aplicada, es un criterio estrecho y retrógrado que con-



tribuyó a frenar el desarrollo del pensamiento por siglos más tarde. Por cierto, sirve para justificar la posición de algunas personas que se consideran intelectuales y que creen que su conocimiento de la poesía, de la música o la pintura excusa su ignorancia de las nociones más elementales de física, química o astronomía.

La falsedad del concepto es fácil de demostrar. En la sociedad esclavista de ese entonces, el desarrollo de la mecánica y de las ciencias aplicadas era prácticamente inútil. Debido al ínfimo costo del trabajo de los esclavos y el bajo nivel de la producción, las máquinas no eran necesarias y, por lo tanto, la técnica no podía desarrollarse. No obstante, se sabe que las personas que dirigían el trabajo de los esclavos no solamente eran capaces de aprovecharse de la experiencia acumulada sino que también estaban al tanto de los avances básicos de las matemáticas y de la mecánica de ese entonces, como demuestran muchas de las grandes obras de Ingeniería de la antigüedad. Y en caso de necesidad, podían aplicar sus conocimientos a la práctica.

Esto lo demostró Arquímedes durante el sitio de Siracusa, cuando su genio mecánico se reveló en toda su grandeza.

### **Cartago y las Guerras Púnicas.**

Es conveniente hacer un paréntesis, para proyectar la vida de Arquímedes sobre la situación política de ese entonces, bastante parecida a la que tenemos en nuestros tiempos.

Poco después de la muerte de Alejandro Magno, su inmenso imperio se fragmentó en numerosos estados, notándose esta división especialmente entre los griegos.

Dos grandes potencias, Cartago y Roma, se disputaban el dominio del mundo conocido, mientras que otras potencias menores como Macedonia, Egipto y Siria formaban el tercer mundo que se mantenía neutral y a la expectativa. Habían también pequeñas naciones, como Siracusa, que tuvieron la mala suerte de estar ubicadas entre los dos países expansionistas y sufrir las consecuencias, como ahora Corea o Vietnam.

La rivalidad entre Roma y Cartago crecía, a medida que se hacían más fuertes y extendían más sus esferas de influencia y muchas veces se traducían en encuentros armados seguidos de tratados de paz poco duraderos. Por uno de

estos, Sicilia fue declarada territorio abierto para ambos países e inclusive, en el año 279, los dos adversarios firmaron una alianza militar contra Pirro, rey de EPIRO que había invadido la isla. Expulsado éste, Roma, siguiendo su política imperialista, ocupó la ciudad de Messina en 264 A.C. y esto desencadenó la guerra por el predominio del Mediterráneo, que en la historia se conoce como la primera guerra púnica.

El rey Hierón había firmado la paz con Roma, en el año 263 A. C., logrando mantener a Siracusa al margen del conflicto. Esto no le salvó de que, con el triunfo de Roma en 241 A. C., Sicilia pase a ser prácticamente una colonia de aquella.

De acuerdo a los términos del tratado, Siracusa podía mantener su propia administración pero perdía el derecho a relaciones internacionales independientes y a acuñar moneda. A los habitantes se les prohibió llevar armas y debían pagar impuestos, como diezmos y peajes, a Roma.

En 219 A. C. comenzó la segunda guerra púnica, pero a la cabeza de los ejércitos cartagineses ya no estaban mercaderes incapaces sino el genial General Aníbal. Y en Sicilia las condiciones tampoco eran las mismas. El rey Hierón había muerto y el trono había pasado a su nieto Jerónimo, un niño que resultó ser un juguete en las manos del partido anti-romano. Cambiando la política de su abuelo, el nuevo rey firmó una alianza con Cartago pensando obtener grandes ventajas con ella.

La lucha de Cartago contra Roma se ve normalmente con una falsa perspectiva histórica. La razón para esto es que la mayor parte de la información sobre Cartago nos ha llegado de fuentes romanas y está llena de datos tan calumniosos sobre este pueblo, que no resisten ninguna crítica.

Se sabe ahora que Cartago, colonia fundada por los fenicios, era una república aristocrática gobernada por una constitución que Aristóteles consideraba la mejor del mundo. Era una sociedad esclavista, como todas las de entonces, pero a pesar de esto había logrado conquistar la simpatía de la mayoría de los pueblos de Africa del Norte.

Se les acusa a los cartagineses de ser gente venal, codiciosa y desalmada. Si esto fuera cierto, no hubiera podido aparecer de entre ellos un hombre como Aníbal ni tampoco hubieran podido luchar con tanto valor y abnegación, cuan-



do ya no quedaba ninguna esperanza, durante los tres años que precedieron a la destrucción de Cartago.

Los romanos les han acusado de mala fe e inclusive acuñaron la expresión "fe púnica" aludiendo a su perfidia. En realidad los cartagineses cumplían estrictamente sus compromisos, mientras que la violación de los tratados por parte de los romanos y sus traiciones desvergonzadas eran conocidas en el mundo antiguo. Este es un ejemplo más de como la gente de conciencia sucia atribuye los pecados propios a aquellos que fueron sus víctimas.

Se les acusa también de carencia de cultura propia. Evidentemente esto es así. Pero lo mismo se puede decir de Roma en el mismo período, que se apropió de la cultura etrusca y después de la griega. Tanto Roma como Cartago eran estados jóvenes y es natural en estos casos la asimilación de los valores culturales de otros pueblos.

No hay que olvidar, además, que después de haber inventado los fenicios el alfabeto tal como lo conocemos ahora, los cartagineses desarrollaron notablemente la escritura e hicieron contribuciones importantes en derecho y ciencia de las finanzas. La agricultura estaba también en un alto nivel. Un tratado de agronomía escrito por Mahón en 28 volúmenes, era muy apreciado en el mundo antiguo. Después de la destrucción de Cartago, esta obra fue traducida del púnico al latín por encargo especial del Senado Romano, y, posteriormente, al griego. El mismo Virgilio, para escribir sus Georgicas, utilizó extensamente esta obra.

También eran los cartagineses hábiles y valerosos navegantes. Mantenían contactos comerciales con el norte de Europa, llegando hasta Islandia y habían dado la vuelta al Africa ya en el siglo sexto antes de nuestra era. Hay la teoría de que inclusive habían descubierto el continente americano.

En esta forma, aunque los cartagineses no tenían cultura propia, hicieron un gran servicio a la humanidad al propagar entre pueblos bárbaros, los conocimientos y artes adquiridos en naciones civilizadas.

Queda la acusación de extrema crueldad, que se origina en los sacrificios humanos practicados en Cartago. Es verdad que se los realizaba como parte del culto religioso, aunque no con mucha frecuencia. Pero también existían en Roma hasta el siglo primero antes de nuestra era y después fueron reemplazados por las luchas de gladiadores, que en

crueledad y salvajismo dejan atrás no sólo a Cartago sino a cualquier país antiguo.

Finalmente hay que reconocer el mérito de un pueblo que después de la derrota total supo mantener su idioma y su cultura sin perder su personalidad dentro del Imperio Romano y que posteriormente, a través de Tertuliano y San Agustín, dio al cristianismo de Occidente sus rasgos distintivos.

No se trata aquí de idealizar a los cartagineses, sino de simplemente dejar sentado el hecho de que, comparándolos con los romanos, estaban en el mismo nivel moral. No se debe nunca atribuir al partido propio todas las virtudes y al contrario todos los vicios. Por esto no se debe culpar al rey Jerónimo por su decisión.

Además, hasta desde el punto de vista político, la decisión parecía acertada. En el año 218 A. C., Aníbal, después de su histórico cruce de los Alpes, había aniquilado en Trasimeno al ejército romano que le había salido al encuentro. Dos años más tarde, en Cannas, infligió a los romanos la derrota más tremenda en toda su historia. Estas dos victorias de Aníbal no dejaron de impresionar al mundo antiguo y, en el año 216 A. C., Filippo V de Macedonia firmó con Cartago una alianza contra Roma. No se podía prever que Macedonia no estaría en capacidad de ayudar a Aníbal, ni menos que su propia ciudad lo iba a dejar abandonado. El hecho es que al año siguiente Jerónimo se adhirió a la alianza y poco tiempo después el ejército y la flota de Roma marchaban hacia Siracusa con el objeto de subyugar la ciudad antes de que los cartagineses pudieran apoderarse de ella.

### **El Sitio de Siracusa.**

Roma envió contra Siracusa al General Marco Claudio Marcelo, con 50 pentérides (galeras con 5 filas de remos) y un ejército de 30.000 hombres, 3.000 caballos y 120 elefantes.

Marcelo esperaba una victoria rápida; sin embargo no atacó la ciudad inmediatamente sino que ofreció parlamentar. Los habitantes de Siracusa, engraidos detrás de sus murallas, no se dignaron siquiera recibir a los embajadores. Esto parecía una locura, en vista de la debilidad de la ciudad y Marcelo pensó tomarla en pocos días.



En vez de esto, se llevó la sorpresa de su vida. Estaba enfrentándose al primer estado en la historia que hacía uso sistemático de la ciencia para fines militares. La primera embestida de los romanos por el mar fue desbaratada antes de que los soldados hayan podido desembarcar. Enormes garfios submarinos, accionados por cadenas, atraparon a las galeras romanas y las estrellaron contra las rocas.

Más tarde, muchos otros inventos del sabio causaron destrozos y provocaron terror en el ejército romano. Así por ejemplo, Arquímedes había perfeccionado gigantescas catapultas con las cuales se arrojaban grandes rocas contra el enemigo. Por consejo de Arquímedes se abrieron troneras a lo largo de los muros, una cosa desconocida hasta entonces, a través de las cuales los defensores podían disparar sin estar expuestos a las flechas enemigas. A base de poleas y contrapesos, Arquímedes construyó unas inmensas gruas con las cuales podía agarrar y levantar las naves enemigas y después soltarlas desde lo alto, estrellándolas contra el suelo. También había agarraderas menores que atrapaban a los soldados que se acercaban demasiado a las murallas.

Según la leyenda, Arquímedes había inventado también los espejos ustorios. Eran estos unos espejos de forma parabólica por medio de los cuales se lograba concentrar los rayos solares produciendo un calor tan intenso que incendiaba los barcos a distancia. La gente poco instruida atribuye siempre los fenómenos que no comprende a causas sobrenaturales. Es comprensible entonces que los inventos del sabio griego sembraron el terror entre los romanos y comenzaron a desmoralizar al ejército. Se llegó a tal extremo que bastaba que sobre la muralla asome un cable o una pieza de madera para que los romanos echaran a correr.

Al ver eso, Marcelo desistió de tomar la ciudad por asalto y decidió derrotar a sus enemigos por medio del bloqueo. Para el ejército romano, la simple adopción de ese plan de guerra era una derrota moral.

Por fin, después de tres años de asedio, la ciudad fue tomada; era el año 212 A. C., que fue también el año de la muerte de Arquímedes. Los habitantes de Siracusa, demasiado confiados en los inventos de Arquímedes, descuidaron su vigilancia y también se cree que hubo traición. La mayoría se encontraba celebrando una fiesta religiosa en honor de Artemis, y ante el sorpresivo ataque de los romanos no supieron presentar adecuada resistencia.

## La Muerte de Arquímedes.

Gracias a Plutarco se conoce más sobre la muerte de Arquímedes que sobre su vida. Hay base para creer que Plutarco pensó que Marcelo era un personaje históricamente más importante que Arquímedes, pues al último lo incluyó en la biografía del primero como una mera anécdota. Y, sin embargo, si todavía se recuerda a Marcelo es sólo gracias a Arquímedes.

Marcelo había dado órdenes de respetar la vida de Arquímedes y de proteger su casa contra el saqueo de la ciudad, que ya había autorizado. Indiscutiblemente conocía el prestigio del sabio y tal vez pensaba inducirle a colaborar con los romanos.

Arquímedes era el prototipo del profesor distraído. El día de la caída de la ciudad estaba sentado en el patio de su casa, disfrutando del sol y dibujando diagramas geométricos en el suelo.

Tan enfrascado estaba en sus reflexiones que no se dio cuenta de que el que había entrado era un soldado romano. Por esto sin levantar siquiera la cabeza pidió impacientemente al que echaba sombra delante suyo que no pise sus dibujos y que no le moleste.

No se sabe qué pensó el ignorante soldado. Se sentiría irritado ante la indiferencia del sabio. El glorioso ejército romano acababa de ganar una batalla, él era el representante de las tropas victoriosas y el viejo ese no se daba ni por enterado. Como si estas líneas en el suelo, que de todos modos no le decían nada, tuvieran mayor importancia que el triunfo militar de Roma. O tal vez, lo cual es bastante probable, no pensó nada.

El hecho es que, borracho de sangre y victoria, mató al indefenso anciano de 75 años, cortando así la vida de uno de los genios intelectuales más grandes de todos los tiempos.