

CI3101 MECÁNICA DE FLUIDOS

**Aldo Tamburrino Tavantzis
Yarko Niño Campos**

2009

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

Interesarnos en estudiar el movimiento de los fluidos parece ser obvio y no requerir mayor justificación si consideramos que sin ellos, simplemente no existiríamos. Un alienígena, al observar nuestro planeta desde el espacio exterior lo más probable es que lo llame “Agua” y no “Tierra”, al ver que el 70% de la superficie terrestre está constituido por agua, como se aprecia en la Fig. 1.1. Pero no es sólo el agua el único fluido que caracteriza nuestro planeta, el extraterrestre también detectaría la presencia de otro fluido, la atmósfera, en el que ocurren fenómenos a gran escala, como los huracanes sobre el Océano Pacífico de la Fig. 1.1. La vida sobre la Tierra requirió de un medio



Fig. 1.1. Vista la Tierra desde el espacio exterior y fenómenos atmosféricos

http://www.nasa.gov/audience/foreducators/k-4/features/F_Visible_Earth.html

http://veimages.gsfc.nasa.gov/20946/image08092006_md.jpg

La vida requirió de un medio fluido para su desarrollo, y hace unos 4400 millones de años la existencia de una atmósfera gaseosa y las condiciones imperantes facilitaron la formación de compuestos orgánicos. Uno de los resultados de la evolución, el ser humano, está compuesto en un 95% de agua. El diámetro de la Tierra es aproximadamente 12.756 km, pero la parte sólida constituye sólo una cáscara superficial con un espesor entre 8 y 40 km, dependiendo si es en la zona de los océanos o de los continentes. Gran parte del resto está constituido por fluidos con características especiales (altamente viscosos o no-newtonianos y propiedades

electromagnéticas), sometido a altas presiones y temperaturas, encontrándose inmediatamente bajo la corteza, el manto, una capa de 2900 km de roca fundida, seguida por el núcleo exterior formado básicamente de hierro fundido y en el centro el núcleo interno, la región de mayor temperatura (similar a la que existe en la superficie del Sol), siendo una esfera sólida de 1220 km de diámetro constituida por hierro y níquel.

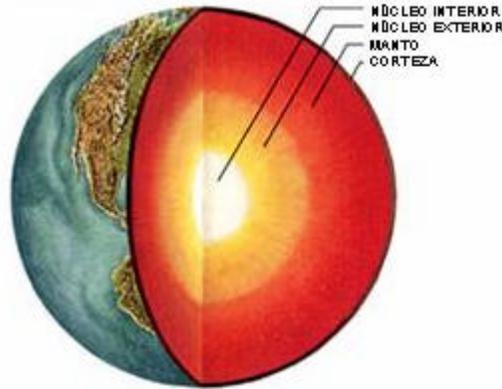


Fig. 1.2. Regiones del interior de la Tierra

La historia de la humanidad ha sido moldeada por la acción de los fluidos y la fluidodinámica. Muchos de los procesos que han definido la morfología de la Tierra involucran flujos de agua sobre ella, definiendo una geografía que ha limitado o favorecido los fenómenos de inmigración tanto del hombre como de otros seres vivos, con sus consecuentes efectos en el desarrollo de la civilización. No es coincidencia que casi todas las grandes civilizaciones se hayan desarrollado en torno a grandes ríos: Es así como se asocian inseparablemente a la civilización que se desarrolló en Mesopotamia los ríos Tigris y Éufrates, la civilización egipcia es asociada con el río Nilo, la china con el río Amarillo y la del valle del Indus con el río Indo.

Procesos relacionados con la mecánica de fluidos los encontramos en los fenómenos climáticos y atmosféricos, movimiento de vehículos (trenes, automóviles, barcos, aviones, etc.), medioambiente, fisiología y medicina, deportes y recreación, armamentos, etc.

Evidentemente, el desarrollo de la mecánica de fluidos y la forma en que se presenta en este curso se basa en el método científico. Esto, que puede parecer obvio hoy, es algo relativamente reciente en la historia de la civilización. La forma de explicar los fenómenos naturales ha cambiado a lo largo del tiempo y es así como podemos identificar tres maneras de hacerlo: mediante una mitología de la naturaleza, una filosofía de la naturaleza y, por último, una ciencia de la naturaleza.

En su primera forma de explicar el mundo en que vivía, el ser humano lo hizo mediante la acción divina de seres superiores. En esta etapa, prácticamente todas las civilizaciones antiguas desarrollaron leyendas o mitos asociados al agua. Es así como de acuerdo a quienes inventaron la escritura (los sumerios, ~3500 a.C.) el océano existió primero y de él nacieron el cielo y la tierra. También el relato de la creación de los mayas, registrado en el Popol Vuh, indica que en el comienzo "...estaba el cielo, completamente solo; estaba el mar, completamente solo; no había nada más; ningún sonido, ningún movimiento; solo el cielo y el mar ...".

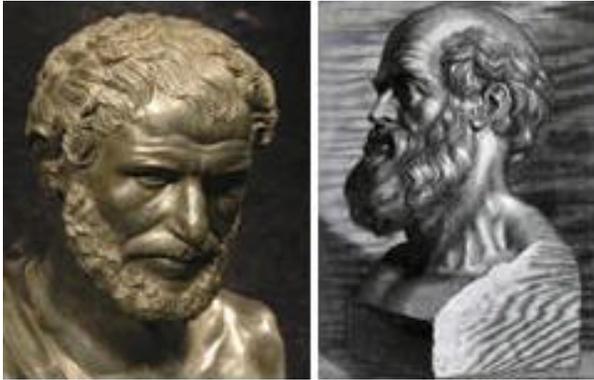


Fig. 1.3. Heráclito de Éfeso (estatua romana) e Hipócrates (dibujo de P. P. Rubens)

En el periodo correspondiente a la filosofía de la naturaleza, se aplica el riguroso método racional desarrollado por lo griegos para interpretar y entender los fluidos y su movimiento. Es en este periodo cuando Heráclito de Éfeso (535 – 484 a.C.) formula su filosofía basada en que “todo fluye” (panta rhei), haciendo analogía al flujo del agua en un río. Hipócrates de Cos (~460 – 377 a.C.), considerado el padre de la medicina, escribió “Aires, Aguas y Lugares”, el tratado más antiguo que se conoce donde discute el efecto de las condiciones atmosféricas en la salud¹. La filosofía de Aristóteles (384 – 322 a.C.) dominó el pensamiento de la civilización occidental por casi 1700 años. En su obra “Física”, aborda distintos aspectos de la naturaleza que ahora englobaríamos en lo que son las “ciencias naturales”. En ella aborda el problema del movimiento y su asociación

En el periodo correspondiente a la filosofía de la naturaleza, se aplica el riguroso método racional desarrollado por lo griegos para interpretar y entender los fluidos y su movimiento. Es en este periodo cuando Heráclito de Éfeso (535 – 484 a.C.) formula su filosofía basada en que “todo fluye” (panta rhei), haciendo analogía al flujo del agua en un río.

Hipócrates de Cos (~

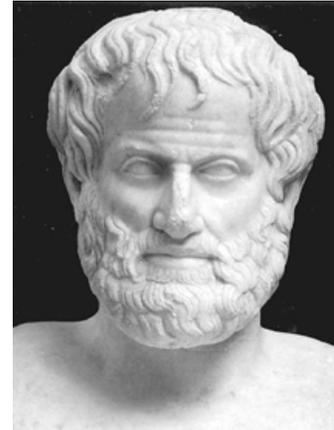


Fig. 1.4. Aristóteles

¹ En su libro, Hipócrates hace la asociación entre salud y condiciones ambientales. Ya al comienzo de su libro relaciona la salud con la calidad del agua, tema que en la actualidad aborda la ingeniería sanitaria. Resulta interesante leer algunas ideas erradas respecto a las propiedades físicas del agua. Por ejemplo, al final del Capítulo IX propone un experimento, en el que se derrite una cierta cantidad de agua congelada, encontrándose que su volumen ha disminuido. Hipócrates explica la diferencia de volumen del agua en sus estados líquido y sólido porque al congelarse se pierde “las partes más livianas y ligeras” del agua. Al parecer no hizo el experimento inverso, congelar nuevamente la misma cantidad de agua, donde encontraría que el volumen aumentaba nuevamente y se recuperaría “las partes más livianas y ligeras”. *Hippocrates, Vol. I, The Loeb Classical Library, William Heinemann Ltd., London, 1923 (Reprinted 1957), pág. 95.*

con el espacio, el vacío y el tiempo. Otros libros de Aristóteles son “Del cielo”, “De la meteorología”, “Los lugares de los vientos”, etc.

El siglo tercero antes de Cristo tuvo a uno de los genios más grandes de la

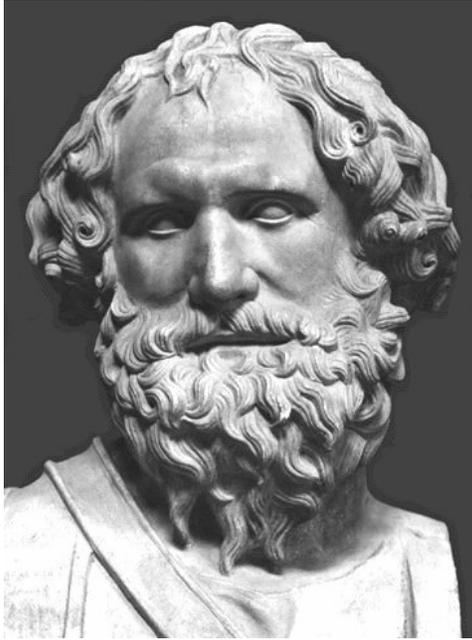


Fig. 1.5. Arquímedes

humanidad: Arquímedes (287 – 212 a.C.), originario de la colonia griega de Siracusa, en la actual Sicilia. La leyenda dice que, estando concentrado en un problema geométrico de círculos, fue muerto por un soldado romano que no lo reconoció, durante el asalto a Siracusa. En el campo de las Matemáticas, aunque abordó todas sus ramas, se dedicó principalmente a la Geometría. Fue precursor del cálculo integral (método de exhaustión). En la Mecánica, se le atribuyen numerosas invenciones, no todas conocidas, entre las que se encuentra la rueda dentada, las leyes de las palancas, etc. Se dice que puso en práctica sus conocimientos para la defensa de Siracusa y se le atribuye haber destruido embarcaciones romanas concentrando los rayos del Sol en ellas

mediante espejos parabólicos, volcándolas mediante garfios accionados por poleas, etc. (Fig. 1.6). Se le atribuye ser el inventor del tornillo sin fin (o



Fig. 1.6. Uso de principios físicos usados por Arquímedes en la defensa de Siracusa

tornillo de Arquímedes) y usarlo para elevar agua (Fig. 1.7), aunque es probable que haya tomado la idea de Medio Oriente o Egipto. Sin embargo, su contribución más notable, y que se mantuvo prácticamente como el único desarrollo de la mecánica de fluidos, es el haber formulado y desarrollado la hidrostática, de la cual se derivan, como casos particulares, el principio de Arquímedes (la fuerza vertical ascendente que

un líquido ejerce a un cuerpo sumergido es igual al peso del volumen de líquido desplazado), las superficies de igual presión en la Tierra corresponden a sectores de superficies esféricas, etc. La estabilidad de cuerpos flotantes Arquímedes la obtuvo dividiendo las diferentes



Fig. 1.7. Tornillo de Arquímedes. La imagen de la derecha corresponde al sistema de utilizado en una planta de tratamiento de agua en Memphis. La planta de tratamiento de La Farfana emplea un sistema similar, pero se encuentra cubierto, por lo que no se aprecia el tornillo sin fin.

geometrías en delgadas franjas (¡cálculo integral!), a las que determinaba sus centros de gravedad y carena. El 20 de octubre de 1998 la casa Christies's de Nueva York remató en dos millones de dólares un palimpsesto bizantino del siglo X, considerado la más antigua y auténtica copia de algunas de las obras de Arquímedes. Contiene un compendio de sus tratados matemáticos e incluye la única copia del tratado sobre el "Método de los teoremas mecánicos". Este palimpsesto es la única fuente en griego del original del tratado "Sobre los cuerpos flotantes", en los que Arquímedes explora la física de la flotación y da la demostración formal del principio de empuje (Fig. 1.8).

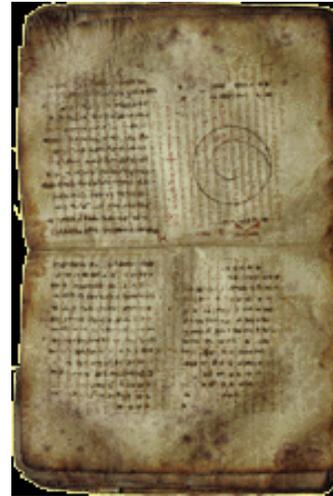


Fig. 1.8. Manuscrito palimpsesto del siglo X con el tratado "Sobre los cuerpos flotantes" de Arquímedes.

Habrà que esperar hasta el renacimiento para encontrar avances significativos en la mecánica de fluidos. Destaca Leonardo da Vinci (1452 - 1519) cuyas contribuciones a la mecánica de fluidos e hidráulica están en su tratado "Del moto e misura dell'aqua" (Del movimiento y medida del agua), y cubre flujos con superficie libre, ondas, vórtices, chorros, etc. Da Vinci es el precursor de la visualización del flujo, para lo cual utilizaba

semillas como trazadores y dibujaba su movimiento, determinando los patrones de flujo. (Fig. 1.9).

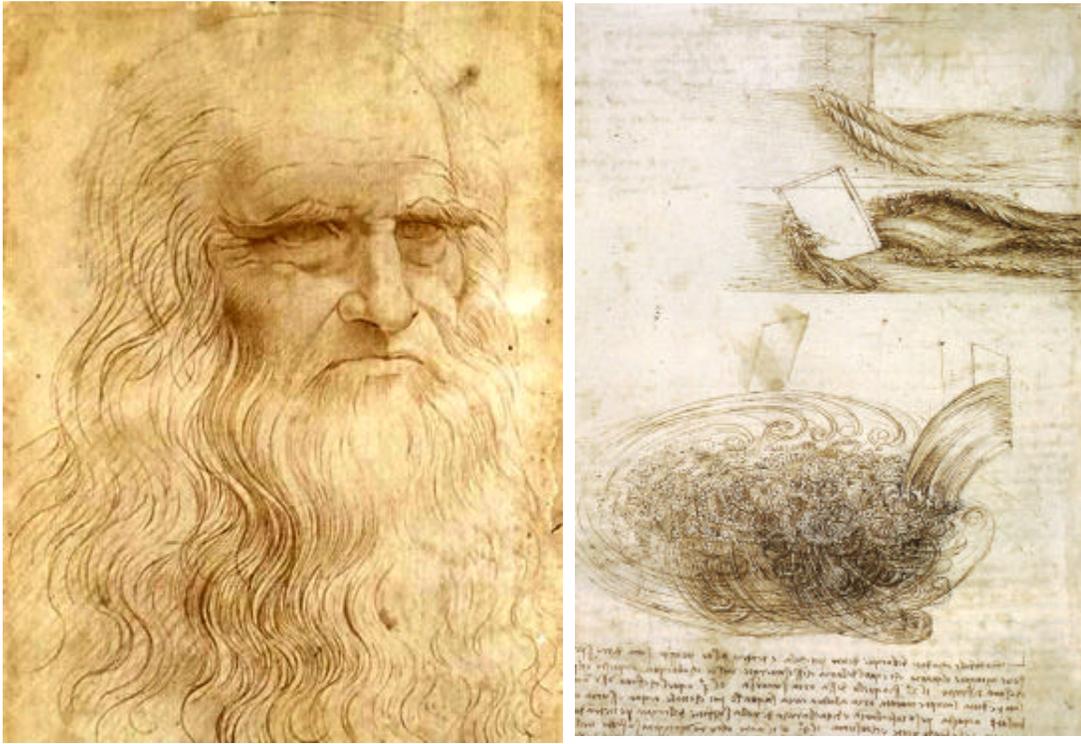


Fig. 1.9. Leonardo da Vinci (autorretrato) y página de su tratado sobre el movimiento del agua, con sus visualizaciones de vórtices y ondas generadas por obstáculos.

Otros nombres que resaltan en el desarrollo de la mecánica de fluidos y que oiremos a menudo a lo largo del curso son los de Isaac Newton (1643 – 1727), genio de la talla de Arquímedes, entre cuyos aportes destacan su segunda ley, la que permite describir el movimiento de los fluidos según las fuerzas que actúan, la ley constitutiva para los fluidos, además de sus desarrollos en el cálculo diferencial e integral. También están Daniel Bernoulli (1700-1782), Leonhard Euler (1707-1783, Claude Louis Marie Henry Navier (1785-1836), George Gabriel Stokes (1819-1903), Jean Le Rond d'Alembert (1717 – 1783), Pierre Simon de Laplace (1749 – 1785), Jean Louis Marie Poiseuille (1799 – 1869), John William Rayleigh (1842-1919), Maurice Couette (1858 – 1943), Osborne Reynolds (1842 -1912), Joseph Valentin Boussinesq (1842 –1929), Ludwig von Prandtl (1875 – 1953), Geoffrey Ingram Taylor (1886 – 1975) y muchos otros cuya contribución a la mecánica de fluidos conoceremos este semestre.

Básicamente estudiar la dinámica de los fluidos no es más que la aplicación de los principios de la física (conservación de la materia,

segunda ley de Newton, primera de la termodinámica) a los fluidos, los que caracterizaremos como un medio continuo, con ciertas leyes constitutivas específicas que especifican su comportamiento interno cuando son sometidos a fuerzas. Esto lo haremos a lo largo del curso, caracterizando y definiendo primero qué entenderemos por fluido, luego aplicando las leyes de la física a un fluido cuando las partículas que lo constituyen no se encuentran en movimiento relativo (hidrostática), para luego dedicar la mayor parte del tiempo al movimiento de los fluidos (cinemática y dinámica).