

# La Física antes de Galileo

## 1.- Concepciones pregalileanas de la relación entre fuerzas y movimientos

Queremos animar al estudiante para que inicie su formación científica a partir de las mismas raíces de la Ciencia y no se limite al conocimiento y aplicación de los resultados finales, ignorando y pasando por alto todo un largo proceso de esfuerzo, imaginación y tenacidad, llevado por muchas mentes a lo largo de los siglos. Gozará de este modo sintiéndose unido en el mundo de las ideas con grandes hombres de otros tiempos, apreciará mejor sus dificultades y la consecución de sus logros, evitará dar una rigidez a los conocimientos científicos que sus creadores nunca dieron y en definitiva apreciará que la Ciencia es un edificio en construcción nunca acabado, pero sí renovado por cada generación. Ningún innovador por original que haya sido, ha creado ideas de la nada, se inicia con el conocimiento legado por los predecesores y sus contemporáneos, valgan como ejemplo las palabras de Newton: *Si he visto más lejos que otros, es por estar aupado sobre hombros de gigantes*. Entre otros se refería a Galileo y Kepler.

La exposición que sigue, enmarca el conocimiento mecánico de fuerza y movimiento, dentro de un contexto algo más amplio de la interpretación del mundo por los pensadores griegos. Si se prescindiera de ella, no se podrá captar la significación tan profunda que ocupó el movimiento en el mundo antiguo, sin ir más lejos, la negación del vacío por Aristóteles.

### 1.1.- Era helénica

Con la aparición de la civilización griega se inicia un esfuerzo consciente e imaginativo para descubrir los principios que rigen la naturaleza y su relación con la vida humana. Su meta era alcanzar una unidad del conocimiento, de tal suerte, que el conocimiento matemático y científico se elaboró relacionándolo convenientemente con el filosófico, en cuestiones relativas al cosmos, a la naturaleza de la vida, del alma, de la belleza, del arte, del bien y del mal. Durante seis siglos hasta la llegada de la era cristiana, investigaron y discutieron las cuestiones fundamentales de la lógica, de las ciencias, de las matemáticas y de la filosofía, muchas de las cuales siguen aún vigentes y son estudiadas por nuestros contemporáneos.

Dentro de la Ciencia se ocuparon de los números y del infinito, de la estructura de la materia, de la geometría, de la música y su relación con los números, de la fuerza y el movimiento, de los vientos y las mareas, de las estrellas y de los planetas, de la estructura y de los ciclos vitales de los organismos biológicos, de la estructura y funciones de los seres humanos. El pensamiento evolucionó desde un punto de vista "animista" que daba a la madera, a las piedras, al aire y al agua, un alma y una caprichosa voluntad; hasta un método más racional, capaz de buscar causas y procesos regulares de los sucesos físicos.

#### Existieron numerosas escuelas con distintas corrientes del pensamiento:

*La Pitagórica*, su principal representante fue **Pitágoras** (siglo VI a. C.). En su búsqueda de la unidad de la naturaleza, defendieron la idea de que está construida, dominada y regida por los números. Adjudicaron a los números propiedades sagradas, viendo el mundo como formado por líneas, triángulos, círculos, cuadrados y sólidos regulares, encontrando la perfección, en la regularidad de los círculos y las esferas.

*La atomística*, cuyo principal representante fue **Demócrito de Abdera** (siglo V y IV a. C.) imaginó que las sustancias estaban compuestas de entidades muy pequeñas, indivisibles o átomos, cuyo tamaño escapaba a nuestros sentidos y siendo distinguibles unos de otros por dureza, la forma y el tamaño (átomos de agua, tierra, aire y fuego). Los cambios de los cuerpos los interpretaban como consecuencia del cambio de posición de sus átomos y con el fin de que fueran entidades separadas y tuvieran sitio para poder moverse, propusieron la existencia del vacío entre los mismos. Postularon que todos los cuerpos en el vacío caen con la misma velocidad y la diferencia de velocidades en medios como el aire, se debía a las diferentes resistencias a los pesos que presentaba el medio.

*La de Atenas*, de ella formaron parte los pensadores **Sócrates** (siglo V a. C.) **Platón** (siglos V y IV a. C.) y **Aristóteles** (siglo IV a. C.). Su influencia en la cultura occidental ha sido extraordinaria.

**Platón** proponía un mundo, en el que la realidad solamente residía en las ideas puras captadas por el pensamiento. Cada objeto real observable en la naturaleza: un triángulo, un círculo, un animal, un árbol, etc., era una forma imperfecta, por lo que el mundo real era imperfecto. El alma y los cuerpos celestes no estaban

hechos de materia mundana y eran perfectos, concibió para ellos una quintaesencia, que no compartía la imperfección de los cuerpos físicos. Como las figuras más perfectas eran los círculos y las esferas, concluyó, que los cuerpos celestes se movían según estas figuras geométricas.

**Aristóteles** propone una visión de la naturaleza opuesta a la Platónica, la realidad se encuentra en el mundo físico, en formas, procesos y cualidades, que nunca se pueden describir completamente mediante una formulación ideal, precisa y abstracta de las matemáticas. Aristóteles se propuso como meta efectuar una síntesis de los conocimientos de su tiempo, sus escritos cubren la lógica, la mecánica, la física, astronomía, meteorología, botánica, zoología, ética, economía, política, metafísica y literatura.

Las propiedades de la materia inanimada y el comportamiento de los seres vivos, estaban dirigidos hacia un fin o meta, de modo que los distintos objetos, tienen lugares naturales en el orden del universo y tienden hacia ellos, si se les permite hacerlo. Así las cosas cambian en una lucha por alcanzar su lugar predestinado, en un intento de conseguir la perfección, la tierra y el agua buscan posiciones más cercanas al centro de nuestro planeta, mientras que el aire y el fuego tiene una tendencia innata (nacieron con ella) de moverse hacia arriba.

Las sustancias terrenales localizadas debajo de la Luna, consistían en cuatro elementos: fuego, agua, aire y tierra, mientras que los cuerpos celestiales invariables, se componían de un quinto elemento incorruptible, no asociado con la tierra, llamado éter. El agua y la tierra estaban dotados de gravedad, considerada como una tendencia innata a moverse hacia el centro del universo. El aire y el fuego poseían la ingravidez, una tendencia a alejarse del centro.

Los materiales se componen de los cuatro elementos en varias proporciones y se mueven en una dirección determinada, según el cuerpo que domina en la composición. Además, si cierto movimiento es provocado, entonces el opuesto es natural. La Tierra debe estar en el centro del universo pues ahí es donde descansa de un modo natural y debió llevarse a cabo tal suceso, hace mucho tiempo.

El movimiento de una flecha o de una piedra, se veía como una combinación de un movimiento forzado o violento, producido por una causa que actúa desde fuera, que cuando cesa, aparece el movimiento natural y la piedra regresa hacia la tierra (el suelo). En los dos casos se cumple un principio, *“todo lo que se mueve es movido por algo”* y si la causa cesaba también lo hacía su efecto.

Un aumento de la velocidad de un cuerpo, debía ser producido por un aumento de la fuerza motriz y sostenía, que los cuerpos caen con velocidades proporcionales a sus pesos.

Se observaba que cualquier movimiento encontraba resistencia, sea de los cuerpos sólidos entre sí, o bien del medio, agua o aire que lo rodea. Aristóteles consideró que la velocidad de cualquier cuerpo era proporcional a la fuerza motriz que lo impulsa, e inversamente proporcional a la resistencia del medio. En lenguaje moderno se expresa por una ecuación.

$$v \propto \frac{F}{F_R} \text{ o bien la relación de igualdad } v = C \frac{F}{F_R}$$

Donde C es una constante de proporcionalidad.

Si el movimiento transcurre en un medio sin ninguna resistencia (vacío)  $F_R$  sería nula y la velocidad del movimiento se haría infinita. Para Aristóteles el movimiento en el vacío total sería inconcebible, ya que la piedra no sabría que camino tomar. Además, como admitir una velocidad infinita le resultaba imposible, concluía que el vacío no puede existir. Con este argumento rechazó la doctrina de Demócrito de los átomos moviéndose en el vacío y estableció además una nueva, según la cual *la naturaleza abomina (abhorrece) el vacío*, que dejó un obstáculo conceptual que vencer para la ciencia moderna.

Consideraba que sin una fuerza motriz F, un cuerpo tendría velocidad cero y especuló sobre lo que mantenía a una piedra lanzada en movimiento. La conclusión fue, que los cuerpos en movimiento son capaces de transmitírselo a otros con los que chocan, y esto debía suceder entre el movimiento de la piedra y el aire. Explicaba, que el aire era puesto en movimiento al ser empujado por la piedra por los lados, y que entonces el movimiento regresaba a la piedra desde el aire por detrás, impulsándola hacia adelante.

## 1.2.- Era helenista

En Alejandría ciudad fundada por Alejandro Magno en Egipto, se desarrolló una brillante cultura comparable a la de Atenas. El adjetivo helenista indica que estaba influenciada por Grecia, pero ya no era exclusivamente griega. Hombres de distintas nacionalidades y razas desarrollaron el pensamiento y la ciencia desde el siglo IV a.C, hasta el siglo II de nuestra era.

Matemáticos como **Euclides** desarrollaron la geometría, **Eratóstenes** determinó el radio de la Tierra. **Hiparco** calculó la distancia Tierra-Luna y formalizó la información astronómica existente, asignando a los planetas una serie de combinaciones de movimientos circulares, con datos numéricos, y situando a la Tierra en el lugar central. El modelo, completado por **Ptolomeo** en el libro **Almagesto**, constituyó la astronomía de la Europa Medieval .

Admitieron la posibilidad del vacío, pero consideraban a las diferentes velocidades en las caídas, una consecuencia de los distintos pesos-fuerza de los cuerpos. **Herón** defendía, que si dos cuerpos de un peso determinado se fundían, la velocidad de caída del cuerpo resultante era mayor que la de cada uno de ellos por separado.

La Biblioteca de Alejandría fue quemada varias veces por sucesivas invasiones musulmanas, sin embargo ciertos manuscritos fueron salvados y gracias a ellos el conocimiento helénico y en particular los trabajos de Aristóteles han podido llegar a nuestros días. Se introdujeron en Europa en lengua árabe a través de España en los siglos IX y X.

### 1.3.-De la Edad Media hasta el Renacimiento

Uno de los primeros científico-filósofo cristiano del siglo VI, **Juan Filopón** defendía, que en el vacío un cuerpo cae con una velocidad finita característica de su gravedad, mientras que en el aire esta velocidad se veía reducida en proporción a la resistencia del medio.

Fue el primero en demostrar que el medio no podría ser la causa del movimiento de un proyectil. Si el aire es el que transporta la piedra, ¿por qué debe la piedra ser impulsada por la mano?. Tuvo la idea original, de que el instrumento impulsor impelía poder motor al proyectil, no al aire, pero el poder motor era solamente prestado, y decrecía según las tendencias naturales del cuerpo y la resistencia del aire, de modo que el movimiento no natural del proyectil terminaba cesando.

Propuso que la velocidad de un cuerpo que cae, o la de un proyectil, era proporcional a la fuerza motriz y que la resistencia del medio solo la disminuía en una cantidad determinada.

$$v(\text{velocidad}) = F(\text{fuerza motriz}) - F_R (\text{resistencia}),$$

Dependía de la diferencia, más bien que del cociente, como señalaba la ecuación que recogía el pensamiento aristotélico.

Admite como posibilidad el movimiento en el vacío, en contra de la concepción aristotélica. Sugirió también, que al impulsar un cuerpo se le dota de una propiedad que tiende a mantenerlo en movimiento, (ésta propiedad vino a llamarse posteriormente ímpetu), que contradice la idea de Aristóteles de asignar esta misión al medio que rodea al cuerpo.

En los siglos XII y XIII y en especial **Santo Tomás de Aquino**, aceptó las ideas de Aristóteles, elevándolo a la máxima autoridad en asuntos de ciencia y filosofía. Los seguidores de Tomás de Aquino fueron los escolásticos de la Europa Medieval, que ocuparon las cátedras de la universidades escribiendo sobre teología, filosofía y ciencia, dentro de la lógica y de la física aristotélica y de la cosmología de Ptolomeo.

La influencia aristotélica a través de los escolásticos, era aún manifiesta en el siglo XVI y XVII en la época de Galileo y supuso un importante freno para las nuevas ideas de la Ciencia . Hombres como Copérnico, Giordano Bruno, Galileo y tantos otros, fueron perseguidos por defender ideas contrarias a la doctrina aristotélica.

En el siglo XII aparece el primer autor que intenta el análisis cinemático del movimiento **Gerardo de Bruselas**, tratando de expresar la velocidad como una razón de cantidades de distinta naturaleza, (espacio, tiempo) y considerando que podría expresarse mediante una magnitud numérica.

**Fancisco de Marchia** publicó un libro en París en 1320, en el que al hablar del movimiento de los proyectiles, rechaza la idea de Aristóteles, argumentando, que la fuerza motriz es algo depositado por la mano y dejada atrás, de modo que no era algo permanente. Al ser un acto externo y violento, opuesto a las inclinaciones naturales del cuerpo, solo era tolerada por un tiempo limitado

**Guillermo de Ockham** de la Universidad de París, es conocido entre los precursores del pensamiento científico moderno, pues su doctrina filosófica reconoce que es poco aconsejable en cuanto al pensamiento y la explicación, postular más propiedades que las absolutamente necesarias y que se deben eliminar suposiciones y atributos superfluos. Esta doctrina atacó directamente a las bases del pensamiento escolástico, por ejemplo, en relación al movimiento estimaba como innecesario, postular cualquier causa unida al mismo que lo justificase. Todo lo que se necesitaba conocer de un movimiento, era cuanto se había desplazado el cuerpo en relación a otros, entre un instante y otro.

Algunos historiadores por rechazar el principio básico aristotélico, de que “todo lo que se mueve es movido por algo”, consideran que dio el primer paso hacia el principio de la inercia.

La teoría dinámica más importante del siglo XIV se debe a **Juan Buridán**, rector de la Universidad de París. Consideró que la fuerza motriz debe imprimir al cuerpo un cierto ímpetu, gracias al cual continuaba moviéndose hasta que era afectado por la acción de fuerzas independientes. En el caso del proyectil el ímpetu se reducía progresivamente por la resistencia del aire y por la gravedad natural a caer hacia abajo. En los cuerpos que caían libremente aumentaba gradualmente por la gravedad natural, que añadía ímpetus sucesivos. Los seguidores de la escuela del ímpetu, consideraron al mismo, como un producto de la masa del cuerpo en movimiento y una cierta función de su velocidad, sin dejar claro el carácter de esta última. Contiene la semilla del momento lineal usado por Newton y de la ley de la inercia, ya que algunos seguidores estimaron, que duraría siempre sino hubiera fuerzas opuestas actuando sobre el cuerpo.

La teoría del ímpetu de Buridán y sus seguidores: **Alberto de Sajonia, Marsilio de Inghen y Nicolás de Oresme** (que además fue un gran defensor del movimiento de rotación la Tierra) fue un intento de incluir los movimientos celestes y terrestres en un mismo sistema mecánico, resultó muy aceptada en los siglos XIV y XV en Francia, Inglaterra e Italia

El desarrollo de la imprenta distribuyó rápidamente los escritos de las escuelas del ímpetu, a través de Europa después de la mitad del siglo XV, influyendo en hombres como Galileo.

En el siglo XIV en Inglaterra, el físico **Heytesbury** y sus contemporáneos, dieron descripciones cinemáticas de varias clases de movimientos. En la Universidad de Oxford en 1335, se había descubierto que un movimiento uniformemente acelerado, es equivalente por lo que respecta a la longitud recorrida, en un tiempo determinado, a un movimiento uniforme cuya velocidad es igual absolutamente, a la velocidad instantánea poseída por el movimiento uniformemente acelerado en el instante medio del tiempo

**Nicolás Copérnico (1473-1543)** desarrolló una teoría cosmológica, en la que la Tierra quedaba desplazada del lugar preponderante que ocupaba en el centro del universo, de acuerdo con el modelo de Ptolomeo aceptado en la Europa Medieval, situó en su lugar al Sol y a la Tierra como un planeta más del sistema solar, que gira alrededor del mismo.

**Galileo (1564-1642)**. Llevó a cabo experimentos de cuerpos que caen a través de líquidos y de cuerpos que se desplazan en planos inclinados en el seno del aire y no se sintió frenado por el argumento Aristotélico del “horror al vacío”. Tuvo la intuición de preguntarse de como sería el movimiento en ausencia de resistencia, aún cuando dicha condición no pudiera alcanzarse completamente en un experimento.. De sus observaciones y razonamientos dedujo, que el movimiento de caída libre (sin resistencia en el vacío) era uniformemente acelerado, siendo la aceleración igual para todos los cuerpos: una piedra, una pluma, etc. si se sueltan juntos, llegarán al suelo a la vez. Galileo diseñó sus experimentos de acuerdo con un plan, que le permitía verificar en forma matemática, una hipótesis previamente concebida. Tuvo además la percepción de la ley de la inercia, aunque no la llegó a formular.