

# **Aristóteles vs. Galileo: Caída libre de un cuerpo y el movimiento a lo largo de la historia**

**María Inés Aguilar<sup>1</sup>, Mariana Ceraolo<sup>2</sup> y Mónica Pose<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Centro Educativo San Francisco Javier, Buenos Aires*  
[miaguilar@ciudad.com.ar](mailto:miaguilar@ciudad.com.ar)

<sup>2</sup> *Colegio FASTA A. M. Boisdron, Buenos Aires*  
[mceraolo@hotmail.com](mailto:mceraolo@hotmail.com)

<sup>3</sup> *Instituto Privado Argentino Japonés “Nichia Gakuin”, Buenos Aires*  
[monpose@yahoo.com.ar](mailto:monpose@yahoo.com.ar)

La experiencia propuesta permite medir, con instrumentos sencillos, la aceleración de la gravedad y analizar distintas características del movimiento de un cuerpo en caída libre. Al mismo tiempo, nos abre la puerta a la discusión del problema que enfrentó a Galileo con las teorías de Aristóteles.

## **Objetivos de este trabajo**

- ✓ Analizar las explicaciones formuladas sobre el movimiento de los cuerpos por Aristóteles, Galileo y Newton.
- ✓ Analizar la evolución del conocimiento científico sobre este tema.
- ✓ Medir tiempos utilizando un fotointerruptor conectado a una computadora.
- ✓ Estudiar el movimiento de un cuerpo en caída libre.
- ✓ Determinar la aceleración de la gravedad.

## **Introducción**

La explicación del movimiento de los cuerpos fue cambiando en la historia junto con la forma de interpretar otros fenómenos del universo. Las investigaciones de Aristóteles determinaron durante siglos la forma de ver el mundo. A tal punto, que hasta mediados del

siglo XVI, resultaba inaceptable pensar que la Tierra se movía y que el Sol no giraba a su alrededor. El atrevimiento de Copérnico, de afirmar su teoría heliocéntrica refutando la concepción vigente hasta ese momento, le dio lugar a Galileo para desarrollar sus ideas. Fue este último quien halló la manera de explicar cómo se mueven los cuerpos independientemente de su naturaleza, incorporando el concepto de vacío y el de aceleración de la gravedad.

La física de Aristóteles está dedicada fundamentalmente al estudio de las causas eficientes y su relación con el movimiento, y es de carácter intuitivo más que experimental. Se desarrolla sobre la base de cuatro principios:

1. Negación del vacío: la existencia de espacios vacíos supondría velocidad infinita por ser ésta inversamente proporcional a la resistencia del medio. Dentro del esquema aristotélico no resultaba admisible la existencia de un móvil con esa propiedad.
2. Existencia de una causa eficiente en todo cambio: La causa eficiente se localizaba en la tendencia generalizada al "propio lugar", que no es sino la inclinación que todo cuerpo posee a ocupar el lugar que le corresponde por su propia naturaleza. Esta propensión al "propio lugar" ha sido interpretada, a veces, como una energía potencial introducida de forma rudimentaria; en otras, se ha visto como la primera insinuación de un modelo de acción a distancia, que sería la ejercida por la Tierra sobre los demás cuerpos.
3. Principio de la acción por contacto: En todos los movimientos, excepto en los naturales, debe existir como causa eficiente un agente en contacto con el objeto móvil. Se tomaba como resultado experimental, aunque aparecían dificultades concretas a la hora de explicar los movimientos de proyectiles, el magnetismo y las mareas. En los tres casos, el agente parecía operar a través de la continuidad del medio.
4. Existencia de un primer agente inmóvil: Carece de interés para el problema de las interacciones.<sup>1</sup>

Para Aristóteles existían dos tipos de movimientos: el movimiento natural y el movimiento violento.

El movimiento natural podía ser hacia arriba o hacia abajo en la Tierra, en donde los cuerpos pesados (como una piedra) tendían naturalmente a ir hacia abajo, y los cuerpos livianos (como el humo) tendían naturalmente a ir hacia arriba. Esto ocurría así porque los objetos buscaban sus lugares naturales de reposo y, por ser movimientos naturales, no estaban provocados por ninguna fuerza.

El movimiento violento era un movimiento impuesto, originado por la acción de fuerzas que actuaban sobre un cuerpo: tiraban o empujaban. Los cuerpos en su estado natural de reposo no podían moverse por sí mismos, sino que era necesario aplicarles una fuerza (empujarlos o tirarlos) para que se muevan.

Durante dos siglos la idea de que la Tierra estaba en su lugar natural de reposo fue muy aceptada y, ya que ponerla en movimiento requería de una enorme fuerza, lo más lógico era pensar que la Tierra no se movía, sino que el resto del universo se movía alrededor de ella. De esta manera, el Sol era el que giraba alrededor de la Tierra.

En plena edad media un astrónomo, Copérnico, se atrevió a decir que la idea antropocéntrica de Aristóteles no era correcta, sino que era la Tierra la que giraba alrededor del sol.

En el siglo XVI, Galileo fue el primero en adoptar las locas ideas de Copérnico. Demostró que la idea de que la Tierra gira alrededor del sol era razonable y que no se requería de una enorme fuerza para mantenerla en movimiento. Lo importante era saber cómo se movían los cuerpos, no por qué se movían.

Cuando dos cuerpos resbalan uno sobre el otro, actúa una fuerza denominada fricción, la cual se debe a las irregularidades de las superficies de los cuerpos que se deslizan. Si esta fuerza no existiera, los cuerpos estarían en continuo movimiento. Galileo demostró que solamente cuando hay fricción se necesita de una fuerza para mantener a un cuerpo en movimiento, y estableció que todo cuerpo material presentaba resistencia a cambiar su estado de movimiento, siendo esta resistencia la inercia.

Este concepto de inercia se contraponía con la idea de movimiento de Aristóteles. Para mantener a la Tierra moviéndose alrededor del sol es necesaria una fuerza (gravitación), no es

necesaria ninguna fuerza extra para que conserve su movimiento, ya que en el espacio del sistema solar no hay fricción porque hay vacío.<sup>2</sup>

En el caso de un cuerpo que se mueva en caída libre con un movimiento rectilíneo, para Galileo la aceleración de ese cuerpo no dependía de la masa del mismo, y esta idea constituía un cambio de paradigma en el mundo de la física, por oponerse a la idea de Aristóteles.

La mecánica de Newton describe cómo las fuerzas producen movimiento:

1. La proporcionalidad entre la intensidad de la fuerza y la aceleración (segunda ley).
2. La ley de inercia (primera ley) por la cual un cuerpo se mantiene en su estado de movimiento si no actúan fuerzas sobre el mismo.
3. El principio de acción y reacción (tercera ley), por el que la fuerza que ejerce un cuerpo sobre un segundo cuerpo es igual y de sentido contrario al que ejerce el segundo sobre el primero.

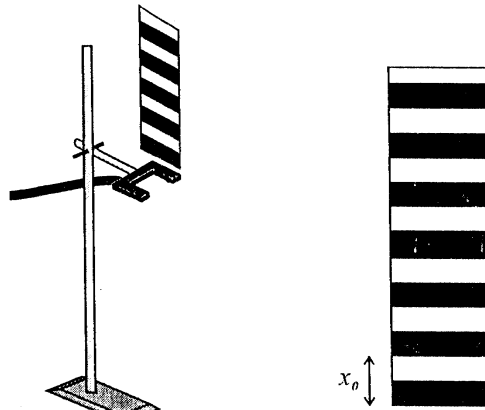
La teoría de la gravitación estudia la naturaleza de las fuerzas asociadas con los corpúsculos, son fuerzas atractivas y centrales, es decir, actúan según la recta que determinan sus respectivos centros. Newton estableció la variación cuantitativa de esta fuerza: resultaba ser directamente proporcional al producto de sus masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa los centros de los cuerpos.<sup>1</sup>

## **Método experimental**

Utilizamos una placa de acrílico de 50 cm de longitud por 12 cm de ancho. Elegimos un cuerpo de estas características por tener un perfil aerodinámico para reducir la influencia del aire (rozamiento). Para las mediciones trabajamos con un fotointerruptor de luz infrarroja marca Vernier conectado a una computadora que realiza las lecturas mediante el programa Precision Timer marca Vernier.

Dado que el acrílico es transparente a la luz infrarroja, le agregamos cintas negras ubicadas a una distancia regular de 5 cm que obstruyen el paso de la luz y nos permite

disparar la medición del tiempo de paso del objeto. Configuramos el programa en el modo “motion timer”.



**Figura 1:** Esquema del dispositivo utilizado, con el fotointerruptor y la placa de acrílico.

Para estudiar el movimiento de la placa de acrílico en caída libre, la dejamos caer por los brazos del fotointerruptor, mientras el programa mide los tiempos. Con la medición de los tiempos de paso y las distancias a las cuales se ubican las franjas, construimos gráficos de la distancia en función del tiempo utilizando el programa Excel. Repetimos la experiencia cuatro veces, y registramos nueve lecturas de tiempos en cada una, que se corresponden con los tiempos de paso en función de las distancias a las cuales se ubican las franjas.

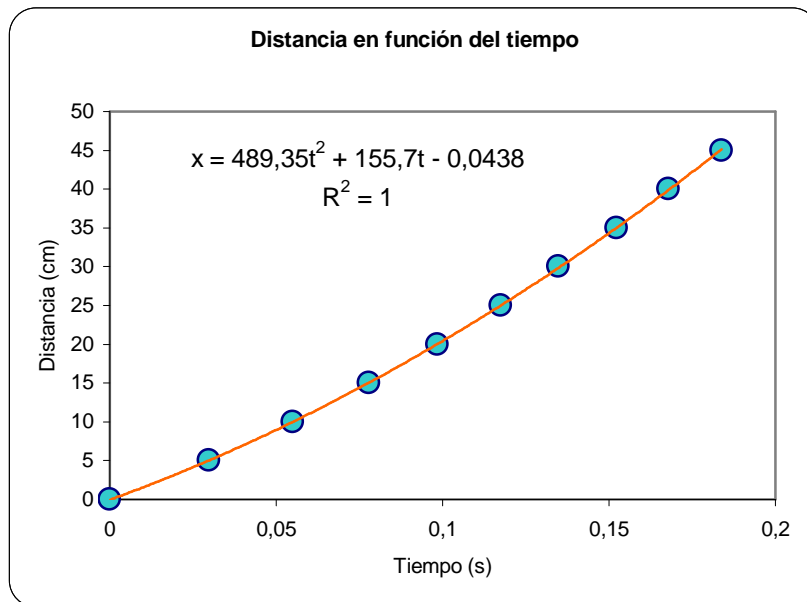
Posteriormente, agregamos a la placa, pesos de cinco valores diferentes para estudiar la dependencia de la aceleración del cuerpo con su masa, repitiendo la experiencia anterior. Con los datos obtenidos en este caso, graficamos la aceleración en función de la masa.

## Resultados y discusión

Para poder analizar los datos del movimiento de un objeto en caída libre, en este caso la placa de acrílico, utilizamos la ecuación de cinemática de la distancia recorrida por un cuerpo con movimiento rectilíneo uniformemente acelerado:

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} g \cdot t^2 \quad (1)$$

en donde  $x$  es la distancia recorrida,  $x_0$  es la posición inicial,  $v_0$  es la velocidad inicial,  $t$  es el tiempo medio y  $g$  es la aceleración de la gravedad. Estos datos experimentales están representados en la figura 2.



**Figura 2:** Distancia en función del tiempo. Con línea de tendencia (trazo continuo) se ve la ecuación que determina la curva.

Sobre la base de los datos aportados por el gráfico y la ecuación de la curva, podemos comparar con la ecuación 1, cambiando el orden de los monomios.

$$x(t) = -0,0438 + 155,7 \cdot t + 489,35 \cdot t^2 \quad (2)$$

El término independiente en este caso es negativo ya que soltamos la placa por encima del haz de luz del fotointerruptor. El segundo término representa la velocidad inicial por el tiempo. El tercer término corresponde a la mitad de la aceleración de la gravedad por el tiempo elevado al cuadrado.

A partir de este último término obtenemos el valor de la gravedad:

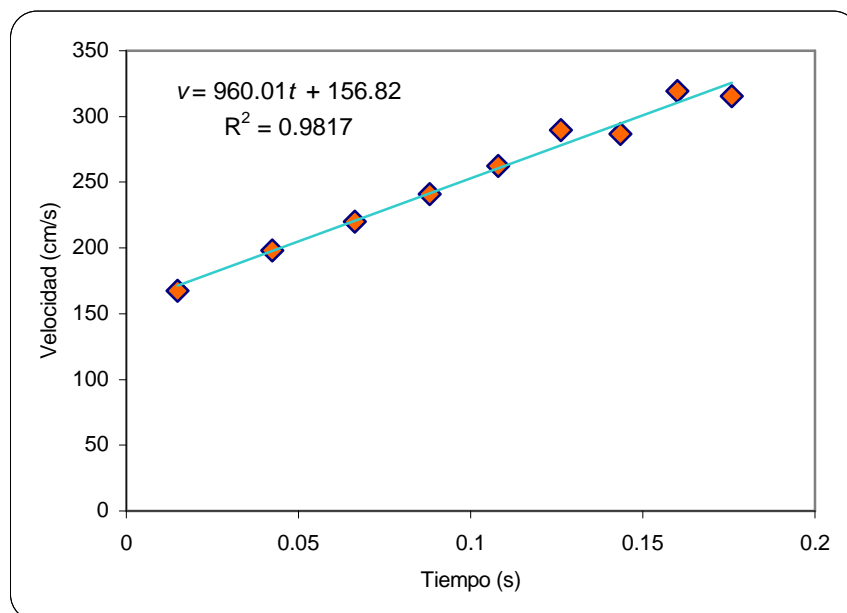
$$2g = 489,35 \text{ m/s}^2$$

$$g = 9,78 \text{ m/s}^2$$

Con los mismos datos, calculamos la velocidad de la placa en función del tiempo. Este valor de la velocidad es la derivada del desplazamiento con respecto al tiempo:

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt}$$

La velocidad calculada en este caso no es la velocidad instantánea, sino la velocidad media, ya que los tiempos registrados por el programa son tiempos de caída de cada intervalo.



**Figura 3.** Velocidad en función del tiempo. La línea de tendencia muestra un crecimiento lineal de la velocidad en el tiempo.

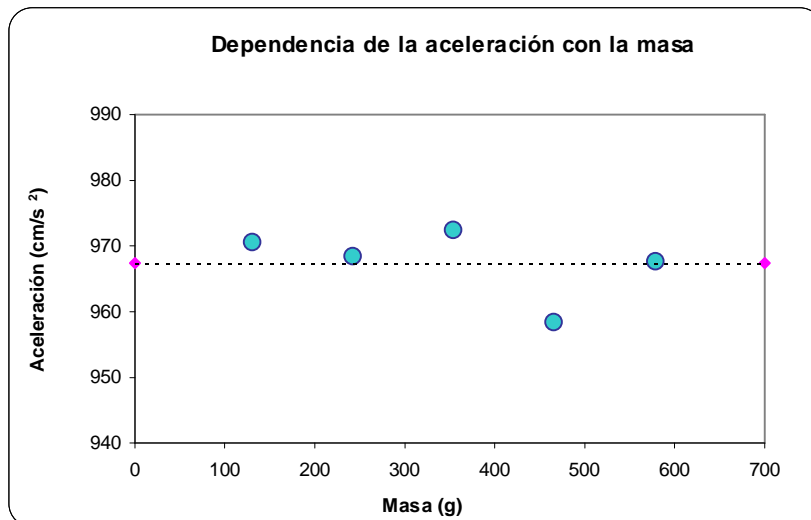
La figura 3 nos permite obtener una ecuación que relaciona velocidad, aceleración y tiempo:

$$v = v_0 + g \cdot t \quad (3)$$

donde  $v_0$  es la velocidad inicial,  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $t$  es el tiempo. A partir de la ecuación 3 obtenemos con este conjunto de datos:

$$g = 9,60 \frac{m}{s^2}$$

Con la finalidad de analizar la dependencia de la aceleración con la masa del cuerpo, graficamos los datos obtenidos en la experiencia realizada con distintas masas. (Figura 4).



**Figura 4.** El gráfico muestra la correspondencia entre la aceleración media y la masa. La línea punteada representa el promedio de las aceleraciones.

Si trazamos la línea de tendencia para los puntos de la figura 4, obtenemos un coeficiente de correlación  $R^2$  igual a 0.21, tendiente a cero. Esto nos indica que no hay correlación entre la aceleración y la masa, tal como afirmó Galileo.



## Conclusiones

A partir de las experiencias realizadas pudimos obtener el valor de la aceleración de la gravedad ( $g = 9.76 \text{ m/s}^2$ ). En cuanto a la dependencia de la aceleración del cuerpo con la masa del mismo, verificamos que no existe dependencia entre ambos parámetros, de acuerdo a lo predicho por Galileo.

## Referencias

[1] En internet, ver, por ejemplo:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/campo/concepto.htm>

[2] P. G. Hewit, *Física Conceptual*, Capítulo 4, Editorial Addison Wesley Longman, México, 1999.