

### MODELO ARISTOTÉLICO DEL MOVIMIENTO

En esta parte se pretende que el estudiante sea consciente de su *física intuitiva\**, pues es la primera condición para desarrollar una nueva *física\** más poderosa. Luego se estudia la naturaleza del conocimiento científico. Por último, se presenta el fenómeno de la caída de los cuerpos, que históricamente fue muy importante en el origen de la nueva física para “corregir” la física antigua, intuitiva, por lo cual es fundamental tenerlo presente a lo largo de nuestro estudio.



### COMPRENDIENDO EL MOVIMIENTO DE LOS OBJETOS EN EL ESPACIO

Todos los niños pequeños son científicos informales: en su vida cotidiana y en sus juegos descubren cómo se comportan las cosas haciendo experimentos (sin ser conscientes de ello) e interpretando lo que observan; por ejemplo, todos creemos que todos los cuerpos pesados caen verticalmente, sin necesidad de que nos lo enseñen. No importa que en este continuo proceso de aprendizaje espontáneo no sigan métodos científicos

rigurosos. Las teorías intuitivas e inconscientes sobre el movimiento, que todos hemos desarrollado de esta manera, son sorprendentemente parecidas a lo largo y ancho del mundo. Por esto no extraña que sean parecidas a las teorías formales y conscientes sobre el movimiento que sostuvieron los científicos anteriores a Newton, durante muchos siglos<sup>1</sup>.



*Ilustración 1*

El disco de Hockey observado en la ilustración, después de recibir el golpe del *stick* (bastón), empieza a desplazarse sobre el hielo con velocidad constante. Piense cuidadosamente en la siguiente pregunta:

¿Por qué ocurre esto?

(En otras palabras: ¿cuál es la causa de que el disco realice su desplazamiento sobre la pista, después de que el stick lo puso en movimiento?).

*Antes de continuar su lectura, deténgase y reflexione sobre la respuesta que usted daría a esta pregunta, no tratando de recordar lo que le enseñaron en Física al respecto, sino razonando a partir de su intuición sobre la realidad física.*

La visión espontánea acerca del movimiento que la mayoría de nosotros formamos en nuestra infancia, gracias a la experiencia cotidiana, parece enseñarnos que todo lo que se mueve es movido por algo de manera inmediata y continua (y no simplemente en el inicio de su movimiento). Si

<sup>1</sup> Es común menospreciar la física griega y medieval, considerándola como un conjunto de ideas especulativas sin base empírica. Según esta visión simplista, Galileo, Newton y los demás fundadores de la Física, tuvieron que luchar contra el “oscurantismo” que no quería saber nada de experimentos. La historia de la ciencia actual, junto con investigaciones psicológicas sobre la “física del sentido común” y sobre el aprendizaje de las ciencias, muestra que la física pre-newtoniana no era algo arbitrario (el lector interesado puede ver más detalles en el prólogo de esta obra). Galileo, con todas sus importantes contribuciones al desarrollo de la física que actualmente conocemos y al establecimiento del método experimental y la matematización de nuestro conocimiento sobre los fenómenos físicos, fue prisionero, en su juventud, de concepciones intuitivas en abierto conflicto con nuestra física (Clement, M., “Students’ Preconceptions in Introductory Mechanics”, *American Journal of Physics*, 50 (1), pp. 66-71, 1982).

interpretamos esta verdad “indudable”, ahondando más en nuestra percepción interna e inexpressable de las experiencias de movimiento, veremos que la respuesta más natural y obvia a la pregunta anterior es la siguiente: el golpe con el *stick* impartió o transmitió al disco esa causa motriz, una especie de “energía” o “fuerza”, que continúa moviéndolo después de haber cesado el contacto entre ambos. Las palabras entrecomillas en la anterior oración se usan en su vago significado cotidiano, como si fueran sinónimos (en la física tienen una definición precisa, cuya comprensión requiere bastante tiempo y reflexión; precisamente uno de los objetivos del texto es ayudarlo a formar esta comprensión, por lo que más adelante expondremos su significado físico). La teoría intuitiva sobre el movimiento puede formularse en palabras mediante las siguientes oraciones:

1. El movimiento es algo *absoluto*: la “velocidad verdadera” de un cuerpo es una característica inherente al cuerpo en sí en cada instante.
2. *Estar* en movimiento (la condición de un objeto fuera del reposo, cuya velocidad no es nula), es siempre *efecto* o resultado de una *causa motriz*, la cual permanece y subsiste en el objeto: “lo que se mueve es movido por otro”.
3. Tal causa motriz proviene del impulsor o propulsor, que puso al cuerpo en movimiento, mediante el cual prolonga su efecto a pesar de haber dejado de estar en contacto directo con el cuerpo.
4. La causa motriz es proporcional a la velocidad: si aumenta la intensidad de la causa, aumenta la velocidad.
5. La causa motriz va “gastándose” o consumiéndose a medida que transcurre el movimiento y, por tanto, la velocidad va disminuyendo.

*Recuadro 1. Articulación explícita de la concepción aristotélica del movimiento*

Es fácil reconocer estas afirmaciones abstractas en las siguientes intuiciones concretas con respecto a la ilustración 1:

1. El disco de hockey sale con una determinada velocidad.
2. y 3. El disco mantiene esta velocidad por cierto tiempo debido a la “fuerza del golpe”<sup>2</sup> que le comunicó el bastón (*stick*).

<sup>2</sup> Como veremos más adelante, algo similar es invocado por la mayoría de personas (con excepción de los físicos) como explicación del movimiento ascendente de una piedra que lanzan hacia arriba con su mano, algo que es muy frecuente denominar como la “fuerza de la mano”. Esta acción fue denominada *ímpetus*\* por los físicos medievales y por Galileo mismo en su juventud.

4. La velocidad inicial será mayor mientras más grande sea la fuerza del golpe.
5. La fuerza del golpe es cada vez más débil, y, en consecuencia, la velocidad del disco va disminuyendo con el transcurso del tiempo.

La “teoría” articulada en el recuadro 1 es llamada “concepción aristotélica del movimiento” pues fue Aristóteles quien primero escribió extensamente sobre ella. La hemos simplificado bastante por razones obvias, pero su interés va más allá de la historia, pues la investigación del pensamiento espontáneo sobre el movimiento ha demostrado, sin duda, que esta teoría todavía está viva en la mente de los alumnos de física. Otra afirmación aristotélica, que no suele ser explícita en el pensamiento intuitivo actual pero que también influye, y a la que nos referimos más adelante, es la diferencia entre lo que Aristóteles llamó “movimiento violento” y “movimiento natural”. Lo que hemos dicho hasta el momento se aplica a los primeros, que son impuestos al objeto por un agente exterior (otro ejemplo, además del movimiento del disco de la ilustración 1, es el de una flecha disparada por un arco, o el de una piedra lanzada verticalmente *hacia arriba*). En cambio, el origen de los segundos es la naturaleza del objeto, y son de dos clases: i) movimiento vertical rectilíneo de caída (es decir, *hacia abajo*, hacia el centro de la Tierra que, para Aristóteles, era el centro del universo)<sup>3</sup>, y ii) el movimiento circular uniforme diario de las esferas celestes en torno a dicho centro. En el trabajo no trataremos de este último, cuyo interés es puramente histó-



Aristóteles (384-322 a.C.), filósofo y científico griego, considerado, junto a Platón y Sócrates, como uno de los pensadores más destacados de la antigua filosofía griega y posiblemente el más influyente en el conjunto de toda la filosofía occidental.

<sup>3</sup> Otro ejemplo es el movimiento ascendente de una burbuja en el agua, alejándose del centro de la Tierra.

rico; en cambio el segundo amerita una discusión detallada, pues se sigue interpretando al modo aristotélico.

### LA NATURALEZA DEL CONOCIMIENTO FÍSICO

Antes de discutir la concepción aristotélica del movimiento es preciso hacer un poco explícita la respuesta a la pregunta: ¿qué es una teoría científica? Nos detendremos un poco en lo que parece una discusión filosófica, pero que es necesaria para ponerse en la actitud mental adecuada para comprender lo que sigue.

Otra importante barrera que tienen inconscientemente la mayoría de los alumnos para comprender la física es creer que esta ciencia es el resultado de “descubrir” cómo *son* las cosas en realidad, es un simple producto de los experimentos. En esta corta sección veremos que la física es una “invención” de las mentes de los físicos, una construcción que pretende representar la realidad de una manera cada vez más perfecta, pues las teorías científicas son creaciones de la mente de ciertos individuos, aunque son aceptadas o rechazadas por la comunidad científica según una diversidad de criterios, entre los que destaca la consistencia con la experiencia humana. Por ello no tiene sentido hablar de “demostración” de teorías, ni mediante el experimento, ni mediante las matemáticas.

En efecto, la realidad material tangible, con todos sus detalles y particularidades, es demasiado compleja: los conceptos inventados por los científicos para describirla mentalmente y hacer predicciones sobre los sucesos son idealizaciones y simplificaciones. Decimos que estos conceptos y las estructuras mentales se integran en teorías científicas, las cuales, al ser aplicadas a cierto objeto, nos brindan un *modelo\** del objeto. La palabra “modelo” se usa en un sentido que puede concebirse pensando en cosas como las maquetas o modelos-a-escala (por ejemplo, muñecos, automóviles y aeroplanos de juguete, etc.), o también en los planos y mapas que representan bidimensionalmente un edificio, una máquina o un territorio, o cualquier entidad tridimensional, mediante ciertas convenciones gráficas. Encontramos otros tipos de modelos más abstractos, como una narración de un suceso (mediante la cual representamos el suceso), las metáforas poéticas que nos evocan sentimientos, etc. Los modelos de la física tienen, en particular, que están definidos generalmente por relaciones matemáticas entre conceptos matemáticos, es decir, representan los objetos mediante variables (cantidades que pueden medirse) y ecuaciones entre variables, etc.

El carácter matemático de los modelos físicos nos permite emplearlos para hacer predicciones cuantitativas sobre el resultado de experimentos en los que se miden ciertas variables. Si las predicciones obtenidas a partir de cierto modelo concuerdan con los datos obtenidos en el laboratorio,

el modelo “funciona”. Si los datos se apartan de las predicciones a partir del modelo (teniendo en cuenta la precisión del experimento), y disponemos de otro modelo que sí funciona, desecharemos el modelo que no funciona, pues el nuevo modelo constituye una “historia” más semejante al mundo real que el viejo.

Ahora bien, el modelo aristotélico y cotidiano predice resultados para un buen número de experimentos que son contradichos por los resultados reales, como discutiremos en la sección siguiente. Existe otro modelo, el newtoniano, que está de acuerdo con los que sucede en estos experimentos. Al considerar atentamente el resultado de estos experimentos, se espera que el alumno cuestione seriamente las suposiciones sobre la realidad en que se basa el modelo aristotélico (existencia del movimiento absoluto, el axioma “lo que se mueve, es movido por otro”) y comprenda y acepte las suposiciones de base del modelo newtoniano.

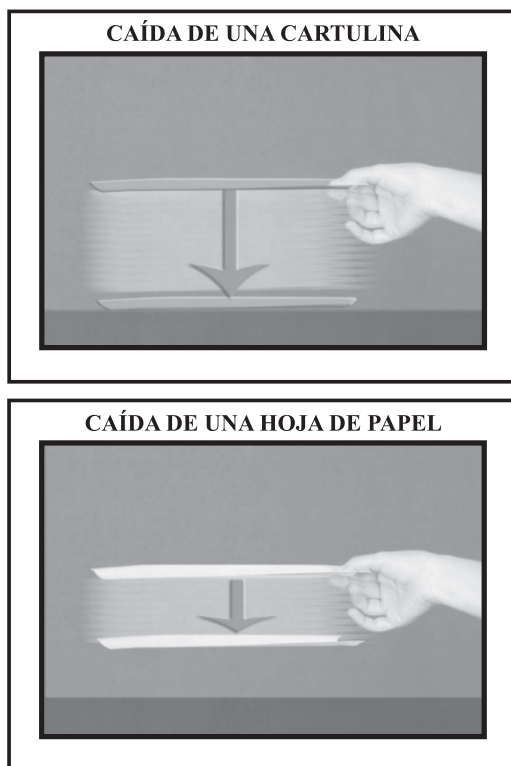
Una última advertencia: el modelo newtoniano no es la última palabra. Después de Newton se ha observado una gran cantidad de fenómenos nuevos y se han realizado experimentos de una extraordinaria precisión. Las predicciones para estos experimentos obtenidas a partir del modelo newtoniano no fueron confirmadas por sus resultados. En consecuencia, los físicos han tenido que construir modelos no newtonianos. No obstante, las limitaciones del modelo newtoniano no impiden su uso en altísimo número de aplicaciones científicas y de ingeniería, por lo que todavía se sigue empleando en estas aplicaciones. Además, muchas de las suposiciones básicas del modelo newtoniano (por ejemplo, la relatividad del movimiento), siguen conservando su valor en los modelos no newtonianos actuales.



Isaac Newton (1642-1727), matemático y físico británico, considerado uno de los más grandes científicos de la historia, que hizo importantes aportaciones en muchos campos de la ciencia.

**PONIENDO A PRUEBA EL MODELO ARISTOTÉLICO**

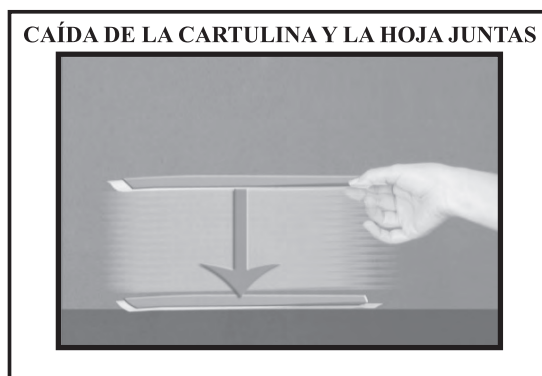
Es importante que al leer los párrafos siguientes, usted se esfuerce en comprender el significado del texto, no importa lo que piense en un primer momento acerca de la verdad o falsedad de lo dicho (pues hay que recordar con frecuencia que estamos construyendo modelos de la realidad). También es importante que usted mismo haga los experimentos sencillos que se indicarán, que no requieren tomar medidas sino simplemente observar lo que pasa e intentar explicarlo de manera lógica, sin hacer caso a la sensación intuitiva de que “hay algo raro en ese resultado”. Tome una hoja de papel y una cartulina gruesa del mismo tamaño, como muestra la figura 1. Si deja caer ambas una al lado de la otra desde esa posición, ¿cuál llegará primero al piso? Piense primero y luego haga la experiencia. Seguramente su predicción estuvo de acuerdo con el resultado de la experiencia.



*Figura 1. Experimento de la hoja y la cartulina (primera parte)*

Ahora ponga el papel encima de la cartulina (figura 2), y pregúntese nuevamente cuál llega primero al piso antes de soltarlos. ¿Le sorprendió el resultado? (por si todavía no la ha hecho, compare sus pesos).





*Figura 2. Experimento de la hoja y la cartulina (segunda parte)*

Por último, arrugue y apriete la hoja de papel hasta formar una bolita lo más redonda y compacta posible; luego déjela caer al mismo tiempo que la cartulina (soltada nuevamente como aparece en la figura 2). ¿Le sorprendió el resultado?

Una de las consecuencias lógicas de la concepción aristotélica y cotidiana del movimiento es que los cuerpos más pesados caen más rápido que los más livianos, por *razón de su mayor peso*. En efecto la velocidad de caída de un objeto es proporcional al peso (ver recuadro 1), el cual es la fuerza intrínseca que lo impulsa hacia el suelo. Es decir, la teoría predice que a mayor peso, habrá mayor velocidad. Lo que nos indican estos resultados, junto con los de una multitud de experimentos precisos y sofisticados (por ejemplo, dejar caer una pluma y una moneda en un tubo al vacío), considerados conjuntamente, es que, cuando la resistencia del aire sobre la hoja se hace despreciable (bien sea por ponerla por encima de la cartulina o bien sea por convertirla en una bolita), los cuerpos más livianos caerían con la misma velocidad que los más pesados. Para explicar este resultado, tan contrario a nuestra comprensión de “cómo funciona el mundo”, fue necesario realizar una profunda revolución en nuestra interpretación del movimiento. Si a grandes mentes del pasado les tomó mucho tiempo asimilarla cuando fue propuesta, no se sorprenda de que usted requiera un tiempo largo de reflexión para lograrlo. Esta revolución consistió en la construcción de un sistema de nuevos conceptos bastante abstractos, cuyas interrelaciones constituyen la mecánica newtoniana. Por tanto, antes de volver al fenómeno de caída libre, lo que haremos al final de estas notas, es necesario, primero, una lenta y cuidadosa labor de reflexión conceptual.