

Taller de Tesina y Naturaleza de la Física 2020

La física de Aristóteles

Adolfo E. Trumper

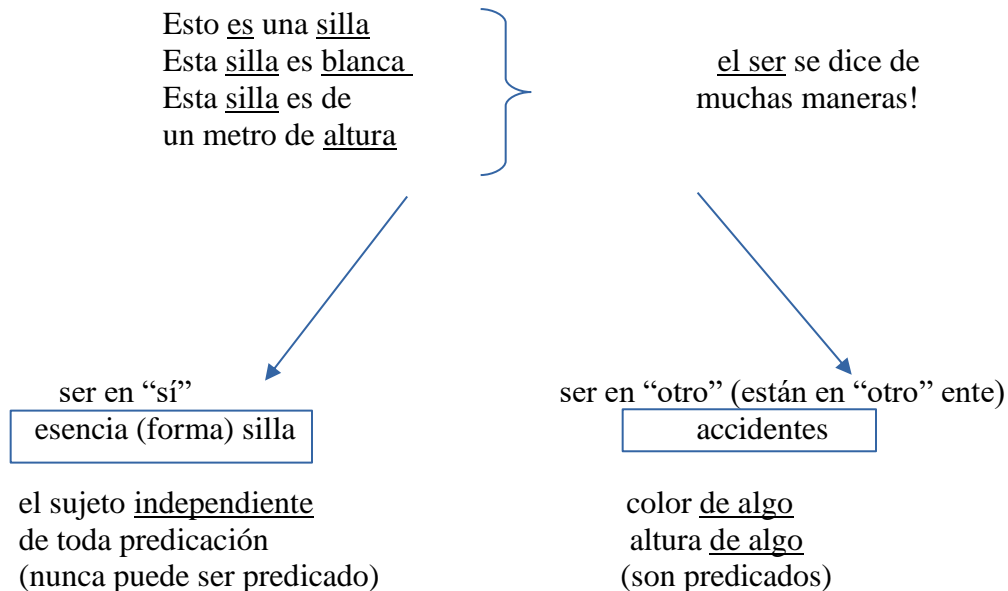
Cuando el hombre intentó explicar el fenómeno del movimiento osciló entre posturas muy diferentes. Por un lado Heráclito de Éfeso (535a.C.–484a.C.) consideraba que la realidad *se encontraba en continuo movimiento*; mientras que por el otro, Parménides de Elea (ca. 515a.C.–??) y los Eleatas consideraban que la realidad *se encontraba en continuo reposo*. Aristóteles (384a.C.–322 a.C.) tomó una postura más cauta, la del sentido común, y quizás sea por esto que las ideas que puso en juego originaron un modo de pensar que con el tiempo se convirtió en una barrera muy difícil superar. De hecho, recién hacia finales del Renacimiento Galileo logró una manera alternativa de pensar o analizar el problema del movimiento que permitió fundar las bases de la cinemática, y posteriormente de la dinámica.

A diferencia de sus predecesores, Aristóteles fue el primer filósofo que intentó explicar el movimiento de los cuerpos mediante un sistema de pensamiento coherente. Aunque hoy día sus explicaciones pueden parecernos anticuadas, debemos reconocer que las ideas aristotélicas sobre el movimiento evidencian una interpretación de la observación muy cercana al sentido común. Cada tanto en su teoría aparecían algunos huecos que indicaban ciertas inconsistencias –lo veremos más adelante–, y era en esta instancia en la que la lucidez de Aristóteles se destacaba y, tras un refinado nivel de análisis, lograba que finalmente todo se ajustara satisfactoriamente a su sistema de pensamiento. Hay que señalar que sus ideas acerca del movimiento formaban parte de una filosofía más amplia, su primer filosofía, o metafísica, en la que se proponía buscar las causas primeras del Cosmos. En particular, sobre la base de conceptos tales como *esencia* (o *forma*), *materia*, *ser en acto* y *ser en potencia* Aristóteles lograba explicar de manera coherente, y sistemática, el problema del movimiento mediante su teoría de las cuatro causas: 1) causa formal, 2) causa material, 3) causa eficiente 4) causa final.

Recordemos que a diferencia de su maestro platón, Aristóteles tenía una postura realista, es decir, para él el verdadero ser de las cosas no residía en el mundo de las ideas sino en este mundo sensible, y concreto, en el que vivimos y nos movemos todos los días, habitado por casas, árboles, hombres, mujeres, animales, etc. A continuación vamos a hacer una descripción más detallada de todo esto.

Categorías: esencia o forma, accidentes y sustancia

Para Aristóteles el ser de las cosas (lo que la cosa es) se dice en muchos sentidos:

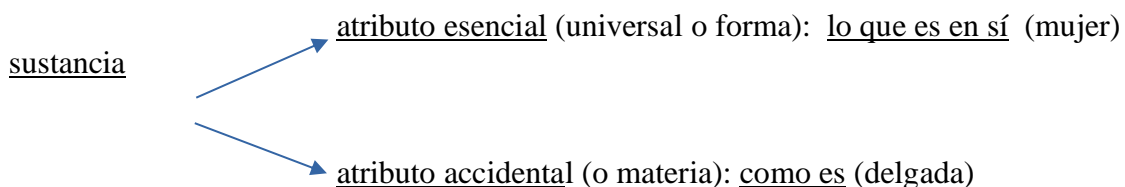


Si hablamos de Sócrates, el ser en sí es el individuo Sócrates (jamás puede ser predicado). Además,

mide un metro setenta (cantidad); es marido de Jantipa (relación);
es calvo (cualidad); está en la plaza (lugar); esta mañana (tiempo);
está de pie (posición); está calzado (posesión); come (acción);
es interesado (pasión)

A estos 10 puntos de vista (agregamos el ser en sí) a partir de los cuales podemos decir lo que algo es, Aristóteles los llamó Categorías.

Para Aristóteles la sustancia es una cosa sensible que consta de dos factores, principios o atributos



Mientras Platón consideraba que la verdadera realidad, lo cognoscible, se encuentra en el mundo de las ideas; para Aristóteles lo cognoscible es lo que la cosa es y reside en la cosa misma como esencia o forma. Del concepto de sustancia Aristóteles concluye que en la vida cotidiana

accedemos a los accidentes mediante los sentidos; mientras que el acceso a la esencia, forma o universal es mediante el intelecto.

Platón

el mundo en el cual vivimos
está en continuo cambio y
es una copia del mundo de las ideas
que nunca cambia, es eterno,
y se encuentra más allá de los sentidos.

Aristóteles

el único mundo es este
en el que vivimos y
está en continuo cambio.
Luego, la esencia o forma de las
cosas son inmanentes a las cosas
residen en las cosas

Metafóricamente podemos decir que Aristóteles tomó los universales de Platón, las ideas, y se los “inyectó” a las cosas.

A esta concepción de sustancia se la denomina hylemorfismo (hyle: materia, morphe: forma o esencia). Luego, materia y forma coexisten en este mundo sensible como dos aspectos inseparables de una misma realidad (sustancia)

Conocer significa, para Aristóteles, no contentarnos con las cosas tal cual se nos presentan sino buscar tras ellas su ser, esencia o forma universal!

Ser en acto y ser en potencia

Hasta aquí todo lo dicho se refirió a las cosas sensibles consideradas estáticamente, ya que no tuvimos en cuenta su movimiento o devenir. Pero resulta que las cosas en el mundo cambian y para describir esta realidad cambiante no nos basta con la forma y la materia.

Aristóteles propone, entonces, que

el equilibrio entre la forma y la materia es inestable
o bien predomina la forma sobre la materia,
o viceversa, predomina la materia sobre la forma

Por ejemplo, en la fabricación de una mesa:

Pura madera (materia) \longrightarrow mesa (forma)

viceversa

Mesa (forma) \longrightarrow leña para fuego (materia)

Para poder pensar este cambio Aristóteles introduce dos nuevos conceptos:

Ser en Potencia: es la materia considerada dinámicamente en sus posibilidades,

por ejemplo,

un árbol → es, en potencia, una mesa

Ser en Acto: es la forma dinámicamente realizada, consumada,

por ejemplo,

un árbol → es, en acto, un árbol

una semilla → es, en potencia, un árbol.

Históricamente (antes de Aristóteles), el problema del movimiento o el cambio involucraba el pasaje

| | | |
|--------------------------------|---|---|
| <u>del ser</u> (aquí o así) | → | <u>al no ser</u> (no ser más aquí, sino allá) (o no ser más así, sino de otra manera) |
|--------------------------------|---|---|

Pensadores como Parménides, utilizaban la lógica y argumentaban que:

| |
|---|
| no puede ser que el no ser (la nada) sea !, |
|---|

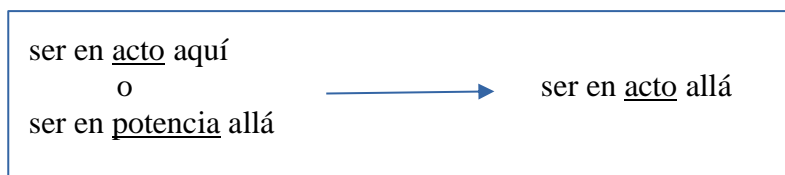
luego, utilizando el principio de contradicción de la razón, Parménides concluía que el movimiento no podía ser pensado racionalmente.

Sin embargo, gracias a los conceptos de ser en acto y ser en potencia, Aristóteles resuelve el problema del movimiento o cambio asumiendo que:

El cambio o movimiento es el pasaje del:



por ejemplo,



Desde ya que la introducción de estos conceptos tenían el pretensioso fin de explicar no solo el movimiento sino también el nacimiento, la muerte, la creación y la destrucción.

Teoría de las 4 causas

Una vez concebido el movimiento como algo compatible con la razón, Aristóteles propone que para describir el movimiento hay que conocer las causas del movimiento. Y así definió cuatro tipos de causas:

Causa Material: - es la materia que recibe a la forma y la mantiene a través del cambio.
- la materia es lo que hace que este mundo no sea un mundo de puras formas.
- toda sustancia está constituida de materia que es en potencia.

Causa Formal: - es la forma que por ser forma es causa de algo (mesa, silla o casa).
- la forma puede estar realizada en cierta medida en la cosa (niño/madurez; planta/árbol)

Causa eficiente: - es el motor o estímulo que desencadena el desarrollo del proceso.
- la forma también puede ser causa eficiente.
- el padre del niño puede ser causa eficiente del niño
- el carpintero causa eficiente de la mesa.
- mientras que la causa final opera desde adelante,
- la causa eficiente opera desde atrás.
- la siembra y el riego son causa eficiente (semilla/árbol)

Causa Final: - es la meta o finalidad a la que el cambio tiende.
- la forma es también causa final.
- no solo los seres vivos sino todas las cosas tienden a una finalidad
- concepción teleológica de la realidad

A simple vista parece muy difícil explicar todo tipo de cambio a partir de estas 4 causas pero Aristóteles se las ingenió para poder explicar todos los cambios en función de ellas. Aquí van algunos ejemplos:

| | <u>Semilla</u> | <u>Hombre</u> | <u>Cosmos</u> |
|--------------|-------------------|----------------|-------------------|
| C. material | 4 elementos | 4 elementos | 5 elementos |
| C. formal | lo que es (roble) | alma racional | perfección |
| C. eficiente | siembra, riego | pensamiento | 1er motor inmóvil |
| C. final | árbol | bien-felicidad | orden |

Una de las consecuencias más interesantes, en lo que respecta la cinemática es que ahora, con la teoría de las 4 causas, se puede explicar de manera coherente el movimiento de los cuatros elementos, tierra, agua, fuego y aire:

| | <u>tierra o agua</u> | <u>aire o fuego</u> |
|--------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| C. material | su componente | su componente |
| C. formal | lo que es (grave) | lo que es (ligero, de liviano) |
| C. eficiente | su gravedad | su ligereza |
| C. final | su lugar natural (reposo, centro) | su lugar natural(arriba) |

Notar que los 4 elementos caen o suben sin necesidad de una causa eficiente obvia. Pero como para Aristóteles todo lo que se movía era movido por algo, el hecho de tomar como causa eficiente a la misma causa formal resolvía, genialmente, este problema.

La cinemática de Aristóteles

Para no seguir complicando las cosas, a continuación, vamos a resumir los enunciados fundamentales que constituyen la cinemática de Aristóteles:

El estado natural de los cuerpos terrestres era el reposo (1): este enunciado se basaba en que para Aristóteles era necesario hacer algo sobre un cuerpo para ponerlo en movimiento o mantenerlo moviéndose. En cambio, los cuerpos celestes —el Sol, la Luna, y los planetas— no cumplían con las mismas leyes de los cuerpos terrestres, aunque eran movidos por el primer motor inmóvil en órbitas circulares alrededor de la Tierra, cuyo centro era considerado el centro del universo.

Con respecto al movimiento de los cuerpos sobre la superficie terrestre, Aristóteles consideraba que había dos tipos: el *movimiento natural* y el *movimiento violento (proyectil)*. El *movimiento natural*, o caída libre, era el resultado de una tendencia intrínseca del cuerpo a buscar su propio lugar natural dentro del universo. Un cuerpo *grave* era un cuerpo que tendía a caer hacia abajo (centro de la Tierra) como una piedra, mientras que un cuerpo ligero era uno que tendía a subir hacia lo alto (2), como por ejemplo el humo. Los cuerpos relativamente graves o ligeros eran aquellos que podían subir o bajar según el lugar en donde se encontraban. Es decir, el cuerpo que era corrido de su lugar natural lo *sabía*, por su esencia, y conocía por lo tanto su fin; era por eso que se movía más velozmente acercándose a su propia destinación.

En el movimiento natural también se involucraba al medio. Sabiendo que cuanto más denso es el medio mucho más lento es el movimiento del cuerpo, Aristóteles sostenía que la velocidad era inversamente proporcional a la densidad del medio ρ_M (3). En lenguaje algebraico esto se puede escribir como

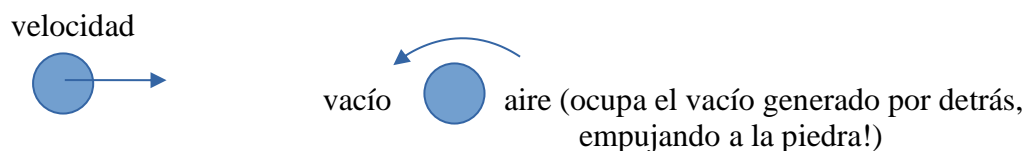
$$V \sim 1/\rho_M.$$

Es decir, cuando la densidad del medio aumenta, la velocidad disminuye y viceversa. Por eso en el vacío, donde no existe ningún medio, y $\rho_M=0$, la velocidad de un cuerpo grave debería ser infinita. De este absurdo se valía Aristóteles para plantear la imposibilidad del vacío (4), lo cual justificaba la creencia de que la naturaleza le tenía *horror al vacío*. Y además, cuanto más grave era el cuerpo más capacidad tenía de superar la resistencia del medio y más veloz era su caída. Por lo tanto, la velocidad de un grave era proporcional al peso del cuerpo (5).

$$V \sim P.$$

Es decir, cuando el peso aumenta, la velocidad aumenta y viceversa.

Por otro lado, el movimiento de un proyectil, en la concepción de Aristóteles, necesitaba de una fuerza no solo para poder iniciarlo sino también para poder continuarlo. Se trataba de un *movimiento violento* y no natural. Según Aristóteles (así como también para Descartes, mucho tiempo después), la función esencial era debida nuevamente al medio, que mantenía el envión dado inicialmente por la mano. El envión del medio se producía de la siguiente manera: el aire que se encontraba justo enfrente de la piedra, luego de ser presionado y empujado, volvía rápidamente a la parte de atrás de la piedra para evitar la formación del vacío, el cual no podía existir. Este mecanismo de autoreemplazo había sido propuesto previamente para explicar el mecanismo de la respiración. Sin embargo, el envión del medio se volvía progresivamente más débil con el pasar del tiempo hasta acabarse. A esta altura la gravedad, que desde un principio no participaba, comenzaba a actuar y el cuerpo caía en movimiento natural. Se pensaba que, por ser distintos, el movimiento violento y el natural nunca se superponían. Como consecuencia de ello se consideraba que la trayectoria de un proyectil era siempre rectilínea, sin ningún tipo de curvatura.



Movimiento de un proyectil según Aristóteles.

En conclusión:

Cualquiera que quisiera profundizar sobre el movimiento de los cuerpos no podía dejar de reflejar las ideas de Aristóteles, ya que en sus explicaciones había relacionado el movimiento con el medio en el cual los cuerpos se movían y sus posiciones en el universo. Por eso, todo aquel que quisiera refutar su sistema de pensamiento debía tener presente que Aristóteles había explicado en modo satisfactorio cómo y porqué los cuerpos caían y los proyectiles se movían. Por lo tanto, además de refutarlo, el desafío consistía en lograr *explicaciones alternativas que tuvieran el mismo grado de consistencia de Aristóteles*. El mayor de los desafíos, sin embargo, era el hecho de tener que enfrentar a las ideas de una personalidad, que además de ser genial, gozaba de una fama tal que, quince siglos después de su muerte, sus ideas sobre los fenómenos naturales se habían transformado en un dogma que sólo comenzó a ser revisado hacia finales del Renacimiento. La permanencia de la mecánica aristotélica durante la Edad Media se debió a que la interpretación del universo, en la que el movimiento era consecuencia de una fuerza en contacto con el objeto, dejaba la puerta abierta hacia un universo en el cual las manos invisibles de alguna inteligencia sublime operaban para hacer rodar constantemente a los planetas. De todos modos, personalidades como las de Descartes, que no estaban ligadas directamente a la iglesia, ofrecían una fuerte resistencia a la idea de que una fuerza a distancia, como hoy sabemos que es la gravedad, pudiera ser la causa del movimiento de los planetas.

Bibliografía:

La Naturaleza y los griegos. Erwin Schrodinger. Tusquets editores (1997).

Noticias del planeta Tierra. Guillermo Boido. A-Z Editora. 4ta edición (2008).

Principios de Filosofía: una introducción a su problemática. Adolfo P. Carpio. Editorial Glauco (2004).

Física, libro VII-VIII. Aristóteles. Editorial Biblos (2003).