

IMPULSO LINEAL Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO

PRECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS CONCEPTOS DE IMPULSO Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Estos conceptos tuvieron una evolución histórica de aproximadamente cuatrocientos años, desde el s. XIV hasta el s. XVII.

En el siglo XIV, el fraile franciscano William of Ockham (1280-1389) o Guillermo de Ockham, asignó a los objetos móviles una propiedad responsable del mantenimiento de su movimiento. Así por ejemplo, una flecha debía transportar lo que él llamo una cierta "carga" (correspondiente a la noción moderna de cantidad de movimiento), cuya posesión aseguraba la continuidad de su movimiento. Esta idea fue defendida posteriormente por su discípulo Jean Buridan (1300-1358), quien llegó a ser rector de la universidad de Paris en 1327. Jean Buridan realizó trabajos teóricos en óptica y en mecánica. Formuló una noción de inercia intentando explicar el movimiento con la "teoría del impetus" y, consideró que la "carga" que transportaban los objetos móviles, como proyectiles, debía ser proporcional al peso del proyectil por alguna función de su velocidad.

Estas ideas llegaron hasta Galileo, Descartes y otros físicos del siglo XVII, que finalmente definieron con precisión el impulso y la cantidad de movimiento.



Descartes (1597-1650), además de indicar cómo debía definirse esta magnitud, le dio un significado dinámico relacionado con las posibles interacciones entre objetos. Escribió: *Una bala de cañón moviéndose a 100 km/h tiene más "movimiento" que una pelota de tenis moviéndose a la misma celeridad, si comparamos el movimiento que cada móvil puede transferir a otro objeto con el que choque.* Es decir, Descartes consideró que la cantidad de movimiento individual de un objeto móvil también indicaba su capacidad de influencia sobre otros, cuando interacciona con ellos.

Para Descartes, la magnitud cantidad de movimiento cumplía un papel esencial en un Universo que, según su concepción filosófica, debía funcionar como un mecanismo de relojería: Una vez puesta en marcha la máquina por Dios, se daba por supuesto su funcionamiento:

"Es completamente racional suponer que Dios, ya que al crear la materia le impartió diferentes movimientos a sus partes y mantiene toda la materia en el mismo estado y condiciones en que la creó, también conserva en ella la misma cantidad de movimiento" (1644; Principios de filosofía)

De este modo, planteó un principio de conservación de la cantidad de movimiento, interpretado como una ley necesaria *para que la máquina universal no se detenga.*

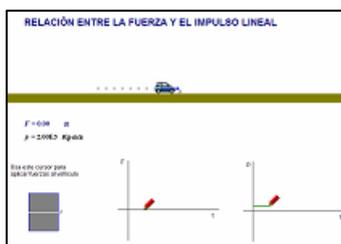
DEFINICIÓN OPERATIVA DEL IMPULSO LINEAL Y LEY DE CONSERVACIÓN PARA UNA PARTÍCULA

En el lenguaje moderno la cantidad de movimiento de un objeto se define mediante la expresión $\mathbf{p} = m \cdot \mathbf{v}$. Es decir, es una magnitud vectorial proporcional a la masa y a la velocidad del objeto. Partiendo de esta definición y aplicando la [ley fundamental de la mecánica de Newton](#), las variaciones de cantidad de movimiento se expresan en función de la fuerza resultante y el intervalo de tiempo durante el cual se ejerce ésta:

$$\mathbf{F}_{\text{res}} = m \cdot \mathbf{a} = m \left(\frac{d\mathbf{v}}{dt} \right) \rightarrow \mathbf{F}_{\text{res}} \cdot dt = m \cdot d\mathbf{v} = d(m \cdot \mathbf{v}) = d\mathbf{p}$$

A la cantidad $\mathbf{F}_{\text{res}} \cdot dt$ se denomina impulso lineal y viene a representar una magnitud física que interviene en las acciones violentas o impactos, tales como choques. En este tipo de acciones conviene considerar la duración del impacto y la fuerza ejercida durante el mismo.

De la expresión obtenida se deduce que el impulso lineal es igual a la variación de la cantidad de movimiento. Si la fuerza resultante es cero (es decir, si no se actúa sobre el objeto) el impulso también es cero y la cantidad de movimiento ($\mathbf{p} = m \cdot \mathbf{v}$) permanece constante. Llamamos a esta afirmación **ley de conservación del impulso lineal**, aplicada a un objeto o una partícula.



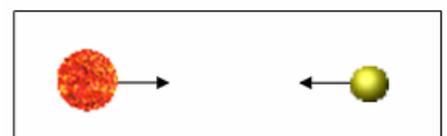
Para practicar la relación entre la fuerza resultante ejercida sobre un objeto y las posibles variaciones o conservación de su impulso lineal, hemos diseñado una animación interactiva *Modellus*. Permite aplicar fuerzas a un objeto y comprobar cómo es su movimiento y la evolución de su impulso. En cualquier instante, se puede intervenir para modificar la fuerza aplicada, o para anularla y comprobar que, entonces, se conserva el impulso y el cuerpo mantiene un movimiento rectilíneo y uniforme. Se deduce de ello que un objeto aislado (no sometido a ninguna fuerza) mantendría su impulso o cantidad de movimiento, que podemos asociar a su capacidad potencial de influir sobre otros.

GENERALIZACIÓN DE LA LEY DE CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO A SISTEMAS

Un sistema es un conjunto de entidades corpusculares que pueden o no interactuar entre sí. Los sistemas se pueden conformar con partículas libres (sería el caso, por ejemplo, de un gas) o con partículas ligadas (un átomo, por ejemplo). Puesto que los sistemas, a menudo, componen otros más complejos (por ejemplo, una molécula), se requiere que un proceso de extensión de los conceptos físicos a los sistemas garantice que globalmente se les pueda considerar a su vez como nuevas entidades individuales que se tienen que poder describir usando las mismas magnitudes utilizadas para estudiar a las partículas simples.

Ahora veremos de qué forma se cumplen estos requisitos al extender la ley clásica de conservación de la cantidad de movimiento a sistemas de partículas.

Para mostrarlo de forma muy sencilla, consideramos un sistema de sólo 2 partículas de masa m_1 y m_2 . Las partículas interactúan entre sí (como mínimo, se atraen gravitatoriamente) y suponemos que componen un



sistema aislado, es decir, que no se ejercen fuerzas exteriores sobre ellas. En estas condiciones, la única fuerza a considerar es la que ejerce partícula sobre la otra.

La fuerza que ejerce la partícula 1 sobre la partícula 2 es: $\mathbf{F}_{12} = d(\mathbf{p}_2)/dt$ y la fuerza que ejerce la partícula 2 sobre la 1 es $\mathbf{F}_{21} = d(\mathbf{p}_1)/dt$. El [tercer principio de la dinámica de Newton](#) dice que la fuerza que ejerce la partícula 1 sobre la 2 es igual y opuesta a la que ejerce la partícula 2 sobre la 1. Por tanto, cumple lo siguiente:

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21} \quad \rightarrow \quad \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{21} = 0 \quad \rightarrow \quad d(\mathbf{p}_1)/dt + d(\mathbf{p}_2)/dt = 0 \quad \rightarrow \quad d(\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)/dt = 0$$

De tal forma que, definiendo la cantidad de movimiento del sistema como la suma de cantidades de movimiento de las partículas que lo componen (en este caso: $\mathbf{p}_{\text{sist}} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2$) se concluye de este razonamiento la:

Ley de conservación de la cantidad de movimiento: La cantidad de movimiento de un sistema aislado (no sometido a fuerzas exteriores) permanece constante.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LA LEY DE CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

La ley de conservación de la cantidad de movimiento de un sistema resulta muy útil para interpretar algunas situaciones dinámicas. Imponiendo su verificación obtenemos una relación que han de cumplir las masas y las velocidades de las partículas, por ejemplo, antes y después de una interacción (un choque elástico, una explosión de un proyectil en varios pedazos, un proceso de fisión o de fusión nuclear, etc..) Por tanto, si se conocen las velocidades de los objetos de un sistema físico, antes de que interactúen, se pueden predecir relaciones entre las magnitudes involucradas después de la interacción. Con ello el problema queda acotado, pero no cerrado, porque también se han de verificar otras relaciones, particularmente la ley de conservación de la energía.

Para practicar ejemplos de aplicación de la ley de conservación de la cantidad de movimiento, hemos creado animaciones interactivas *Modellus* que resuelven, bajo determinadas condiciones, algunas situaciones.



Una de ellas simula un choque elástico entre dos bolas (se supone que el impacto es instantáneo). El enunciado plantea concretamente que una bola (roja) se dirige a chocar con otra (amarilla) y supone que la primera queda en reposo después del choque. Aceptando estas condiciones restrictivas, los estudiantes de 1º Bachillerato resuelven el problema mediante un proceso de investigación. La animación ayuda a contrastar sus hipótesis. Permite modificar la masa de las partículas y la velocidad de la bola que se lanza (roja).

Es importante que se comprenda que las condiciones impuestas a esta situación no tienen por qué darse (de hecho, sólo ocurren para un determinado valor de los parámetros del problema) Por eso, una vez tratado el problema así, se complementa con experimentos (cualitativos y cuantitativos) sobre choques y rebotes de carritos.

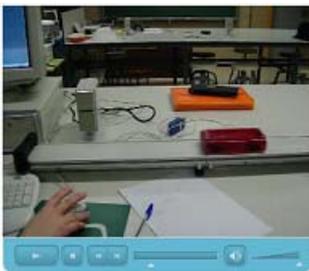
Otra situación sencilla que se puede tratar con ayuda de una animación interactiva es el estudio del disparo de una bala que se incrusta en un bloque de determinado material, haciéndolo de tal forma que el conjunto salga despedido a una determinada velocidad. Para obtener esta velocidad posterior a la incrustación se puede exigir el cumplimiento de la ley de conservación del impulso y se obtiene una solución teórica formalmente correcta si se acepta que no hay pérdida de la energía del sistema (bala-bloque) durante la incrustación. La animación adjunta resuelve el problema bajo estas condiciones. Permite modificar la velocidad a la que se dispara la bala, su masa y la masa del bloque.



También se completa este problema con un experimento sobre coches de carritos provistos de un fieltro mediante el cual quedan pegados después de interactuar, dándose una situación similar a la planteada en este problema.

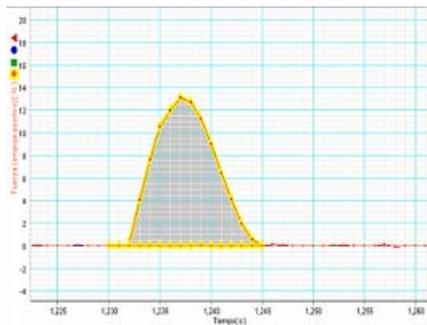
EXPERIMENTOS SOBRE CHOQUES Y REBOTES

Utilizando el sensor de fuerza y el sensor de movimiento realizamos experimentos sobre rebotes y choques más o menos elásticos, comprobando en qué grado se verifica la ley de conservación la cantidad de movimiento.



En uno de los experimentos los alumnos estudian un rebote casi elástico de un carrito. La barrera y el carrito tienen imanes que provocan el rebote. El objetivo del experimento es investigar si la fuerza magnética devuelve toda la energía y toda la cantidad de movimiento al carrito, como tendría que ocurrir si el choque fuera perfectamente elástico.

El caso extremo opuesto a esta situación es el estudio de choques violentos, casi inelásticos, como el de una bola lanzada sobre una superficie rígida.



En un curso de formación docente, un grupo de profesores estudió esta situación. Usaron un sensor de fuerza para recibir los impactos de la bola y determinaron el impulso ejercido para diferentes velocidades del choque.

Ya hemos dicho que algunos carritos están preparados para chocar entre ellos prácticamente sin tocarse (imanes). También se pueden acoplar, quedando juntos después de colisionar (mediante una superficie de fieltro) y avanzan por el carril (de rozamiento muy pequeño) con movimientos casi uniformes si dicho carril se coloca en posición horizontal. Estas cualidades del equipo experimental, facilitan el planteamiento de una amplia variedad de experimentos sobre conservación de la cantidad de movimiento involucrando a dos carritos y previendo choques adecuados entre ellos.



En uno de estos experimentos los estudiantes lanzan un carrito a chocar contra otro al que arrastra después del choque. Puesto que se conocen las masas de los carritos (y se pueden modificar a voluntad añadiendo pesas encima de ellos), los estudiantes, antes de realizar las experiencias, prevén la

relación entre la velocidad del carrito lanzado antes del choque y la del conjunto después.



Nos referimos finalmente a un conjunto de experimentos en los que pueden chocar dos carritos, de tal forma que, después del choque, ambos se mueven, haciéndolo en algunos casos en sentidos opuestos al del lanzamiento, en otros en el mismo sentido. Para estudiar estas situaciones es necesario utilizar simultáneamente dos sensores de movimiento, uno para registrar las posiciones de cada carrito.

A los experimentos, materiales y referencias citadas en este documento se accede desde la página dedicada al "Impulso y cantidad de movimiento" (<http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Impulso/Impulso.htm>) dentro de la web del Departamento de Física y Química del IES "Leonardo Da Vinci" de Alicante (<http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/fisica.htm>)