



**baliabideak**  
material de aprendizaje



# Mecánica de la partícula

Erica Macho Stadler

**Cuaderno del estudiante**

IKD baliabideak 1 (2011)

# **CUADERNO DEL ESTUDIANTE**

## **Mecánica de la Partícula**

**Erica Macho Stadler**

## MECÁNICA DE LA PARTICULA

### CINEMATICA DE LA PARTICULA (Actividades 1 a 10)

Sistemas de Referencia. Posición, velocidad, aceleración. Componentes intrínsecas de la velocidad y la aceleración. Clasificación de movimientos.

### DINAMICA DE LA PARTICULA (Actividades 11 a 21)

Leyes de Newton. Ecuaciones del movimiento y condiciones iniciales. Magnitudes dinámicas. Teorema del Momento lineal. Teorema del Momento angular. Teorema de la Energía. Fuerzas conservativas y energía potencial.

## PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

La Mecánica es la ciencia que estudia las formas más simples del movimiento de la materia: el desplazamiento de los cuerpos o de alguna de sus partes respecto de otros cuerpos/partes. La Mecánica Clásica surgió como resultado de las observaciones de un tipo limitado de movimientos: de cuerpos de tamaño comparable a la del cuerpo humano (piedras, balas de cañón) o muy grandes respecto a este (planetas) y que se desplazan a pequeñas velocidades.

El movimiento de los cuerpos puede estudiarse de formas diferentes: ocupándonos únicamente de su descripción o centrándonos en su comprensión. Esta última alternativa es importante para nuestro conocimiento básico de la naturaleza y para desarrollar aplicaciones prácticas.

Nuestro estudio va a incluir los dos enfoques. Comenzaremos por el primero respondiendo la pregunta *¿Cómo se mueven los cuerpos?*, para pasar a desarrollar la segunda respondiendo a *¿Qué relación existe entre el movimiento de un cuerpo y las causas que lo producen?*

**Actividad nº 1****Presencial**                      **En grupo****Esta actividad finalizará con una puesta en común.****Presentación:**

La Mecánica es la ciencia que estudia las formas más simples del movimiento de la materia: el desplazamiento de los cuerpos o de alguna de sus partes respecto de otros cuerpos/partes. La Mecánica Clásica surgió como resultado de las observaciones de un tipo limitado de movimientos: de cuerpos de tamaño comparable a la del cuerpo humano (piedras, balas de cañón) o muy grandes respecto a este (planetas) y que se desplazan a pequeñas velocidades.

El avance de esta ciencia se debe en gran parte a Galileo Galilei (1564-1642), que realizó estudios experimentales para comprender el movimiento de los planetas o de las balas de cañón. Las leyes de la Mecánica fueron formuladas definitivamente por Isaac Newton (1642-1727). Leonhard P. Euler (1707-1783) fue el primero en expresarlas analíticamente y representó un papel muy importante en su desarrollo.

En esta lección vamos a centrarnos en responder a las siguientes preguntas:

**¿Cómo se mueven los cuerpos?**

- ¿Cuándo se puede decir que un objeto está en movimiento?*
- ¿Qué magnitudes se utilizan para describir el movimiento de un objeto?*
- ¿Qué tipos de movimiento puede realizar un objeto?*
- ¿Cómo se describen matemáticamente estos movimientos?*

En primer lugar, y antes de intentar responder a las preguntas anteriores, podemos plantearnos la siguiente pregunta: ¿Por qué es importante conocer cómo se mueven los cuerpos? Pensad en algún ejemplo en que este conocimiento sea útil o necesario.

Ahora, antes de empezar a trabajar con las actividades, intentemos responder a las preguntas planteadas, y comprobemos nuestros conocimientos previos.

**Actividad nº 2**

**Presencial**

**En grupo**

**Esta actividad finalizará con una puesta en común.**

**2.1.** La lección que vamos a iniciar lleva por título Cinemática de la Partícula. ¿Podrías encontrar una conexión entre este título y la pregunta general que pretendemos resolver?

**2.2.** A continuación se muestran una serie imágenes que contienen uno o varios cuerpos de formas y tamaños variados. ¿Podrías seleccionar aquellos que consideréis que pueden denominarse partículas? Explicad en cada caso las razones de vuestra decisión.



**2.3.** ¿Podrías dar una definición de partícula?

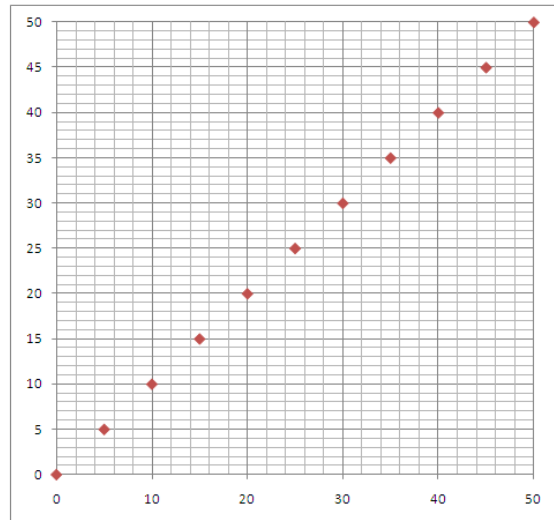
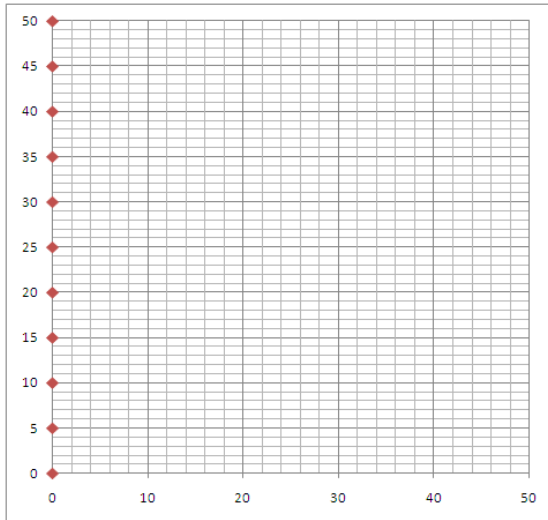
### Actividad nº 3

**Presencial**

**En grupo**

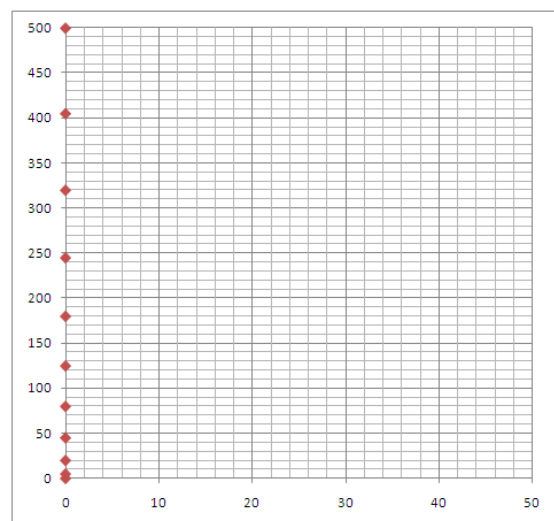
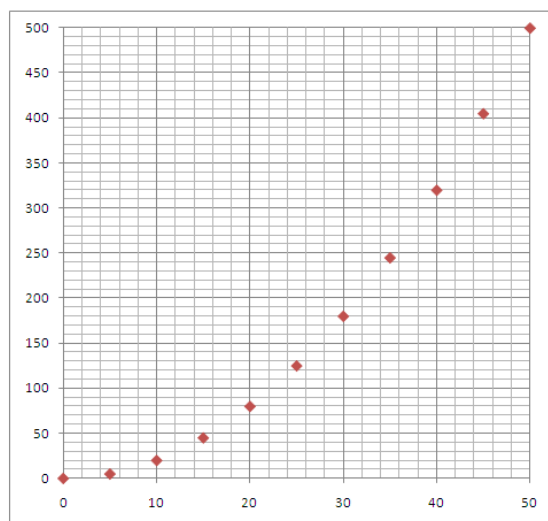
**Esta actividad finalizará con una puesta en común.**

**3.1.** En cada una de las figuras se puede apreciar la posición (en el eje OX y en OY) de una partícula cuando el tiempo va pasando. En ambos casos la partícula sale del punto (0,0) en el instante  $t=0$ . La figura equivale a una serie de fotografías realizadas a intervalos iguales de 1 segundo.



- ¿Pueden los dos gráficos corresponder a diferentes partículas? En caso afirmativo, describir su movimiento. Especificar claramente respecto de qué o quién (sistema de referencia) se realiza la descripción.
- ¿Pueden los dos gráficos corresponder a la misma partícula? En caso afirmativo, describir su movimiento. Especificar claramente respecto de qué o quién (sistema de referencia) se realiza la descripción.

**3.2.** Repetir el ejercicio anterior con las siguientes figuras:



**Actividad nº 4**

**En casa Individual**

**¿Para qué puede resultar útil la Cinemática de la Partícula?**

Las tres actividades anteriores nos han permitido centrar un poco la lección “Cinemática de la Partícula”. Ya sabemos a qué se refieren las palabras CINEMÁTICA y PARTÍCULA, y hemos dado algunos ejemplos en los que su estudio puede ser útil. Cuando hablamos de “movimiento”, nos vienen a la cabeza coches, trenes, balones o piezas de maquinaria industrial. Seguramente, algunas personas pensarán también en videoconsolas o teléfonos móviles.

Desde los de primera generación, analógicos, que sólo se pueden usar para voz hasta los de tercera (o cuarta) generación, la evolución de los teléfonos móviles ha sido espectacular. Existe una estrecha relación entre la ampliación, versatilidad y calidad de las funciones integradas en los teléfonos móviles con los avances en la electrónica, el desarrollo de nuevos materiales, la industria del software y los sistemas micro-electromecánicos (MEMS). Estos últimos son la integración de elementos mecánicos, sensores, accionadores, y electrónica en un sustrato de silicio común mediante la tecnología de microfabricación. La introducción de sensores de aceleración y giroscopios permite añadir nuevas funciones, por ejemplo la activación de modo silencioso por el movimiento del teléfono.

Un acelerómetro es un sensor que se fija a un objeto para medir su aceleración. Existen varios tipos de acelerómetros que utilizan diversos modos de detección (piezoelectricidad, piezoresistividad, extensimetría, capacitiva, inductiva, óptica, efecto Hall, etc). Algunos parámetros propios de un acelerómetro son su rango de medida (que se expresa en unidades de  $g = 9,806\ 65\ m/s^2$ ), su masa, su sensibilidad transversal y el número de ejes (entre 1 y 3). Un acelerómetro se puede usar para la medida de aceleración, velocidad y desplazamiento además de la determinación de formas de onda y frecuencia. Algunas magnitudes pueden medirse directamente, mientras que otras deben calcularse, por ejemplo la velocidad de un móvil puede calcularse a partir de la integración de su aceleración.

Las aplicaciones son diversas: medida de velocidades, medida de desplazamientos, diagnóstico de maquinaria o la detección de defectos en materiales. Normalmente se clasifican en tres grandes categorías:

- Medida de choques: durante un choque se producen aceleraciones muy breves y de gran intensidad. Por ejemplo un acelerómetro que cae desde una altura de 20cm sobre una placa de acero de 5cm de espesor está sometido a una aceleración de 8000g.
- Medida de vibraciones: las aceleraciones vibratorias son de nivel medio (centenas de g). Se utilizan por ejemplo en control de vibraciones y mantenimiento predictivo.
- Medida de aceleración de objetos en movimiento: las aceleraciones son de valor bajo (por ejemplo en aviones militares del orden de 9g) pero requieren mayor precisión.

Entre 1975 y 1985 se produjo el desarrollo de acelerómetros MEMS (MicroElectroMechanical Systems) y a partir de 1990 se desarrollaron los NEMS (NanoElectroMechanical Systems). Se utilizan en campos tan variados como la automoción, la aeronáutica, la medicina, la biología o las telecomunicaciones. Muchos aparatos que utilizamos habitualmente pueden contenerlos: video proyectores, televisores de alta definición, cámaras de fotos, relojes, ordenadores, video consolas, teléfonos, airbags, etc.



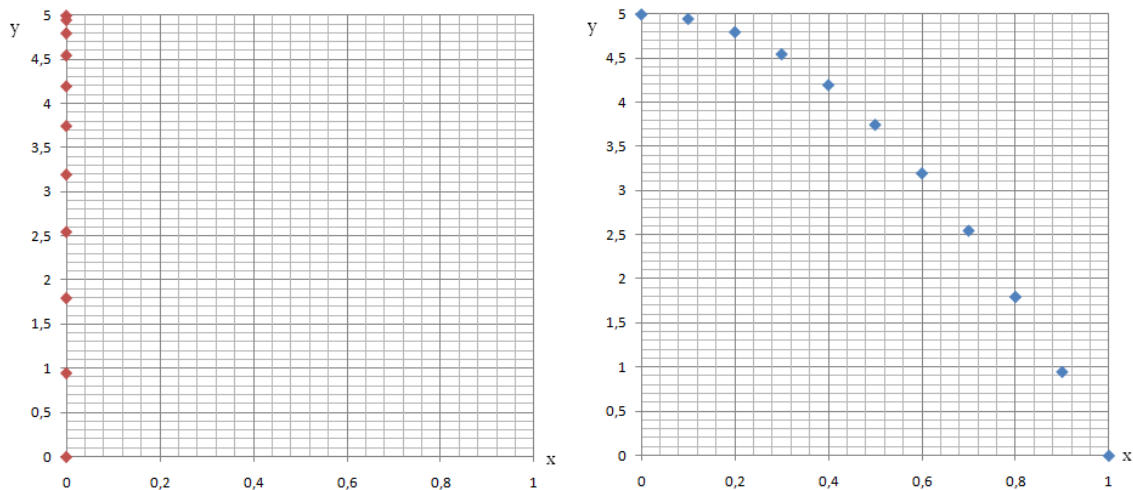
Busca por tu cuenta otras aplicaciones en las que el conocimiento de la Cinemática de la Partícula sea útil.



**Actividad nº 5**
**Presencial**
**En grupo**
**Magnitudes cinemáticas: características y relaciones entre ellas.**

En la sección de I+D de una empresa que fabrica de acelerómetros, se está desarrollando un nuevo modelo electrónico. Los acelerómetros electrónicos permiten medir la aceleración en una, dos o tres dimensiones. Por tanto, pueden utilizarse para determinar la posición de un cuerpo en el espacio, a partir de las medidas de su aceleración.

Supongamos que se ha desarrollado un software que permite calcular la posición de un cuerpo en función del tiempo, a partir de los datos experimentales de un acelerómetro pegado a él. Para comprobar que no hay errores en los cálculos, se realizan una serie de fotografías de una partícula en movimiento, a intervalos de tiempo iguales, en las que se puede apreciar su posición cuando el tiempo va pasando, y se compara con los cálculos realizados. A continuación se muestran dos de los casos de estudio.



La figura muestra la trayectoria de dos saltadores que caen desde una altura de 5m bajo el efecto de la gravedad, desde el punto de vista de un observador situado en reposo en el suelo. Ambos salen de (0,5) en el instante  $t=0$ . El primero (rojo) se deja caer, mientras que el segundo (azul) coge carrerilla y se lanza. La figura equivale a una serie de fotografías realizadas a intervalos iguales de 0.1 segundo.

**5.1.** Estudiar el movimiento de cada saltador en OX y OY en función del tiempo. Se sugiere comenzar confeccionando una tabla de valores que incluya para cada valor del tiempo las posiciones en el eje OX y OY, las distancias recorridas en cada eje:

| tiempo | x | y | $\Delta x$ | $\Delta y$ |  |  |
|--------|---|---|------------|------------|--|--|
|        |   |   |            |            |  |  |

¿Consideráis necesario introducir alguna nueva magnitud en este estudio? Si es así inclúidlas en la Tabla. Describid el movimiento de cada partícula en cada uno de los ejes. ¿Qué valores de la aceleración se esperarían en cada caso?

**5.2.** Comparar los valores correspondientes a las dos partículas. ¿De qué depende la diferencia de sus movimientos?

**Actividad nº 6**

**Presencial**

**Individual**

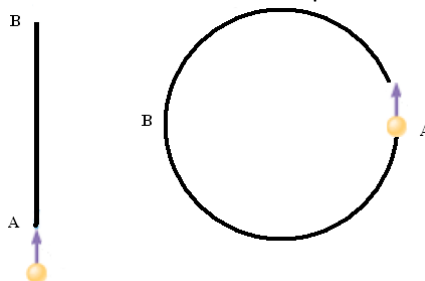
**Componentes intrínsecas de los vectores velocidad y aceleración. Clasificación de los diferentes tipos de movimiento.**

Actualmente la seguridad viaria incluye el diagnóstico, acondicionamiento, gestión y mantenimiento de las carreteras. Los gestores necesitan medir los parámetros geométricos de la red para responder a los nuevos desafíos en seguridad. El estudio de las trayectorias de los vehículos y de su relación con las características de la vía, constituye un elemento esencial para evaluar los riesgos y proponer acciones de mejora. Se han desarrollado vehículos equipados con sistemas de detección avanzados que realizan estas medidas, siendo su coste bastante alto.

Una empresa de ingeniería recibe el encargo de construir un sistema de bajo coste que permita reconstruir el perfil de la carretera que recorre un vehículo. La propuesta incluye una parte de diseño del sistema de medida y la puesta a punto de un programa que permita calcular el perfil de la trayectoria a partir de las medidas de los sensores.



La empresa decide realizar un diseño que utilice acelerómetros y calcular la posición del vehículo en cada instante a partir de estas medidas. La siguiente figura muestra las trayectorias obtenidas para un vehículo cuando circula por una recta y una rotonda circular.



**6.1.** Dibujar los vectores velocidad y aceleración en varios puntos de las dos vías si, entre A y B, el indicador de velocidad marca 90km/h.

En vista de los resultados obtenidos, ¿podemos asegurar que la velocidad se mantiene constante si el indicador de velocidad no cambia? ¿Existe alguna diferencia entre las trayectorias rectilíneas y las curvilíneas?

**6.2.** Dibujar los vectores velocidad y aceleración en varios puntos de las dos vías si, entre A y B, el indicador de velocidad marca un valor que disminuye de forma continua desde 180km/h hasta 90km/h.

¿Existe alguna diferencia reseñable entre la trayectoria rectilínea y la curvilínea?

**Actividad nº 7**

**En casa Individual**

**Esta actividad se recogerá para su corrección.**

La empresa de ingeniería de la Actividad 6 desea mejorar el programa de su sistema incluyendo una rutina que calcule la distancia de seguridad que deben mantener dos vehículos que circulan uno tras otro en una vía rectilínea. Para ello encargan a uno de sus ingenieros que realice un estudio sobre este aspecto de seguridad vial, que incluye una parte de documentación y otra de cálculo.

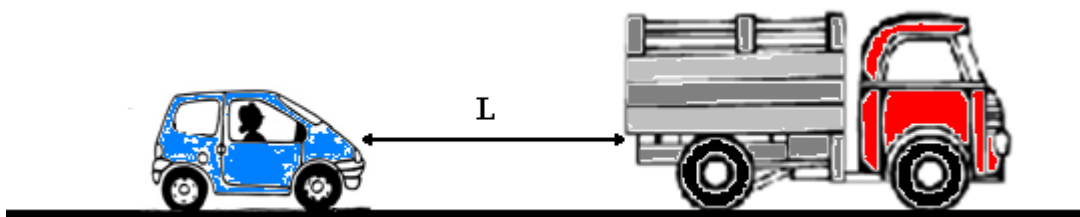
**7.1. DOCUMENTACION:**

¿Qué es la distancia reglamentaria de seguridad según el código de la circulación? ¿Toma el mismo valor en diferentes condiciones de conducción? ¿De qué depende?

Factores que modifican la distancia de seguridad:

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Factores que dependen del conductor |  |
| Factores que dependen del vehículo  |  |
| Factores que dependen de la calzada |  |

**7.2.** Cálculo de la distancia de seguridad para dos vehículos que marchan uno detrás de otro a la misma velocidad  $v_c$  en una vía rectilínea. Suponer que el vehículo que va delante frena con aceleración  $a_1$  constante, el segundo vehículo frena con aceleración  $a_2$  también constante. Incluir el tiempo de reacción del conductor en el cálculo.



**7.3.** Representar cómo varía la distancia de seguridad en función de la velocidad inicial de los vehículos. Hacer una valoración de la distancia de seguridad para vehículos circulando en autopista ( $v_c=120\text{Km/h}$ ) con aceleraciones variando entre 5 y  $10\text{m/s}^2$ .

**Actividad nº 8**

**Presencial/En casa      En grupo**

**Esta actividad se recogerá para su corrección.**

El proyecto “El gran salto” del francés Michel Fournier, consiste en realizar un salto en caída libre desde una altura superior a 40000 metros con un equipo adecuado a las condiciones de altitud. El objetivo es batir 4 récords del mundo y hacer progresar la ciencia. El próximo intento tendrá lugar este año en Canadá.

Debido a la dependencia de la presión atmosférica con la altitud, la caída de un objeto desde grandes altitudes es diferente que cuando caen en una atmósfera uniforme. Cuando se calcula la variación de la velocidad del objeto en función de su altitud, el resultado muestra que al principio la velocidad del objeto aumenta hasta alcanzar un valor máximo (este valor máximo aumenta con la altitud inicial), y después disminuye hasta alcanzar una velocidad límite. Fournier se dejará caer verticalmente sin velocidad inicial. Al principio del salto, en ausencia de presión atmosférica, su velocidad aumentará hasta alcanzar la velocidad del sonido (1067km/h a T=218K). A continuación, será frenado de forma progresiva debido a la densificación del aire. Entonces se colocará en posición horizontal y abrirá su paracaídas a una altitud de 1000m. La duración del salto está calculada en unos 6 minutos y medio. La trayectoria de la caída se seguirá de forma permanente utilizando un sistema GPS.

**8.1.** Conectarse a la página <http://www.legrandsaut.org> para analizar la información relevante del proyecto desde el punto de vista científico-tecnológico. Realizar un pequeño resumen.

**8.2.** Para evitar la complejidad matemática que supone el estudio de un salto tan largo como el de Fournier, en esta actividad vamos a realizar el estudio de un salto más corto, que se realiza en una zona de atmósfera uniforme.

Supondremos que el saltador se lanza sin velocidad inicial desde una altura de 1000m. El salto se desarrolla en dos fases. Al principio del salto, el paracaídas no está desplegado y el saltador está sometido a la aceleración debida a la atracción terrestre, de valor  $a=9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ . Al cabo de 12s, el saltador abre su paracaídas, haciendo que la aceleración debida a la atracción terrestre sea modificada por el rozamiento del aire, resultando en una aceleración  $a=9.8-0.035v^2 \text{ (m/s}^2\text{)}$  cuando  $v$  en m/s).

- a) Obtener la velocidad y el espacio recorrido en función del tiempo, y dibujarlos. Describir el movimiento.
- b) ¿Cuánto duraría el salto y a qué velocidad llegaría al suelo el saltador en caso de que el paracaídas fallara?

NOTA: el cálculo de la velocidad y el espacio recorrido puede realizarse de forma analítica (integrando las ecuaciones diferenciales correspondientes). También puede realizarse utilizando un método de integración numérico como el método de Euler.

### Actividad nº 9

**Presencial/ En casa      En grupo**

**Trabajo de laboratorio. Esta actividad se recogerá para su corrección.**

#### Estudio teórico-práctico del movimiento de un proyectil sometido a la aceleración gravitatoria

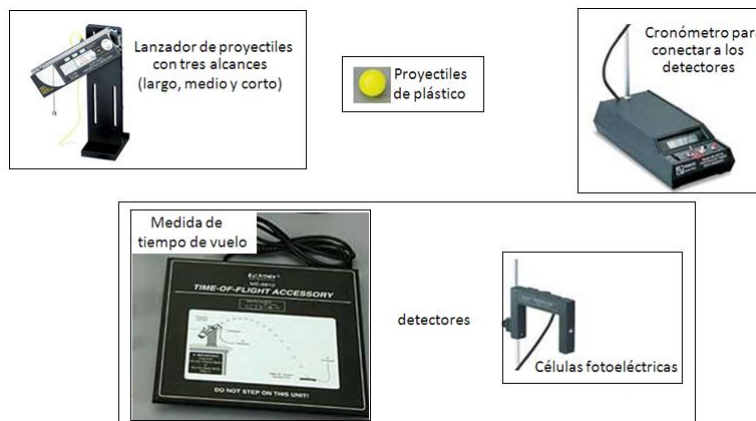
Esta actividad combina la resolución de un problema cinemático teórico con el diseño de una prueba en el laboratorio que permita comprobar hasta qué punto las leyes cinemáticas que se utilizan habitualmente y las aproximaciones que se realizan coinciden con la realidad. Además se utilizarán algunos sensores de medida de tiempo y posición.

#### Modelado teórico

Predecir el movimiento de un proyectil de corto alcance que se mueve bajo la influencia de la aceleración de la gravedad. Suponer que no existen rozamientos con el aire.

#### Diseño y montaje del experimento

Diseñar un experimento de que permita medir el tiempo de vuelo y la distancia recorrida por un proyectil en el laboratorio. Para la construcción del sistema experimental se dispone del siguiente material:



Realizar el montaje y las pruebas necesarias para su correcto funcionamiento. Verificar que el sistema permite obtener las magnitudes deseadas. Realizar una valoración del error experimental en cada una de las magnitudes que se van a medir.

#### Estudio experimental

Realizar varias veces el experimento. Recoger los resultados experimentales. Dar un resultado para el tiempo de vuelo y la distancia recorrida por un proyectil junto con el error correspondiente.

#### Comparación del modelado teórico y el estudio experimental

Comparar los resultados obtenidos en los dos estudios. Comentar.

**Actividad nº 10****Presencial****En grupo****Esta actividad finalizará con una puesta en común.****Recapitulación:**

Al principio de esta lección decíamos que el objetivo era responder a las siguientes preguntas:

**¿Cómo se mueven los cuerpos?***¿Cuándo se puede decir que un objeto está en movimiento?**¿Qué magnitudes se utilizan para describir el movimiento de un objeto?**¿Qué tipos de movimiento puede realizar un objeto?**¿Cómo se describen matemáticamente estos movimientos?*

Antes de empezar a trabajar con las actividades, intentamos responder a las preguntas planteadas, y comprobamos nuestros conocimientos previos. Ahora es el momento de volver sobre las preguntas y comprobar qué es lo que hemos aprendido.

Para ello, cada grupo responderá a cada una de las preguntas y después haremos una puesta en común, en la que confeccionaremos un panel en el que sumaremos todas las ideas.

Al finalizar la actividad, unos de los grupos quedará encargado de recoger las ideas del panel, escribirlas en un editor de texto y hacerlo llegar a todos/as.

**Actividad nº 11**

**Presencial**

**En grupo**

**Esta actividad finalizará con una puesta en común.**

**Presentación:**

La Mecánica es la ciencia que estudia las formas más simples del movimiento de la materia: el desplazamiento de los cuerpos o de alguna de sus partes respecto de otros cuerpos/partes. La Mecánica Clásica surgió como resultado de las observaciones de un tipo limitado de movimientos: de cuerpos de tamaño comparable a la del cuerpo humano (piedras, balas de cañón) o muy grandes respecto a este (planetas) y que se desplazan a pequeñas velocidades.

El avance de esta ciencia se debe en gran parte a Galileo Galilei (1564-1642), que realizó estudios experimentales para comprender el movimiento de los planetas o de las balas de cañón. Las leyes de la Mecánica fueron formuladas definitivamente por Isaac Newton (1642-1727). Leonhard P. Euler (1707-1783) fue el primero en expresarlas analíticamente y representó un papel muy importante en su desarrollo.

El estudio cinemático de una partícula, que se ha visto en la lección anterior, se ocupa de su descripción. En esta lección vamos a centrarnos en su comprensión que es importante para nuestro conocimiento básico de la naturaleza y para desarrollar aplicaciones prácticas. Para ello vamos a responder a las siguientes preguntas:

**¿Qué relación existe entre el movimiento de un cuerpo y las causas que lo producen?**

*¿Qué produce el movimiento de las partículas? ¿Qué son las fuerzas? ¿Cómo se comportan?  
¿Qué leyes físicas rigen el movimiento de las partículas en el marco de la Física Clásica?  
¿Qué alternativas tenemos cuando la segunda ley de Newton no se puede resolver de forma analítica?  
¿Qué magnitudes físicas se utilizan en el estudio del movimiento de un objeto?  
¿Cómo se relacionan entre sí las magnitudes físicas se utilizan en el estudio del movimiento de un objeto?*

En primer lugar, y antes de intentar responder a las preguntas anteriores, podemos plantearnos la siguiente pregunta: ¿Por qué es importante comprender cómo se mueven los cuerpos? Pensad en algún ejemplo en que este conocimiento sea útil o necesario.

Ahora, antes de empezar a trabajar con las actividades, intentemos responder a las preguntas planteadas, y comprobemos nuestros conocimientos previos.

| Actividad nº 12                                    |          |
|----------------------------------------------------|----------|
| Presencial                                         | En grupo |
| Esta actividad finalizará con una puesta en común. |          |

**12.1.** La lección que vamos a iniciar lleva por título Dinámica de la Partícula. ¿Podrías encontrar una conexión entre este título y la pregunta general que pretendemos resolver?

**12.2.** A continuación se muestran una serie imágenes que contienen una partícula en diversas situaciones de reposo o movimiento. ¿Cuáles son las causas que producen cada situación?

|  |                                               |
|--|-----------------------------------------------|
|  | Objetos en reposo                             |
|  | Objetos que deslizan                          |
|  | Objeto en reposo                              |
|  | Objetos en reposo sujetos con cuerdas         |
|  | Objetos en reposo sujetos a cuerdas o muelles |

**12.3.** ¿Podrías dar una definición de fuerza?



---

| <b>Actividad nº 13</b> |  |
|------------------------|--|
|------------------------|--|

|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| <b>Presencial</b> | <b>En grupo</b> |
|-------------------|-----------------|

|                                                           |  |
|-----------------------------------------------------------|--|
| <b>Esta actividad finalizará con una puesta en común.</b> |  |
|-----------------------------------------------------------|--|

**13.1.** Retomemos las imágenes de la Actividad 12. Hacer una lista de todas las fuerzas que pueden actuar sobre cada partícula.

**13.2.** Buscar información sobre el comportamiento de cada fuerza. Consultad para cada una: qué la produce, qué valor toma y cómo se comporta.

**13.3.** ¿Recordáis haber estudiado alguna otra fuerza que no aparece en las imágenes anteriores?

**13.4.** Hacer una clasificación de todas las fuerzas que conocéis.

**Actividad nº 14****En casa****Individual****¿Para qué puede resultar útil la Dinámica de la Partícula?**

Las tres actividades anteriores nos han permitido centrar un poco la lección “Dinámica de la Partícula”. Ya sabemos a qué se refiere la palabra DINÁMICA, y hemos visto algunos ejemplos de fuerzas y de su comportamiento.

Las fuerzas y sus efectos están presentes en todos los sistemas mecánicos (máquinas industriales, vehículos, etc.). Parece obvio que el análisis, el diseño, cálculo y optimización de sus componentes y su integración en sistemas complejos, son imprescindibles para un funcionamiento que permita una mayor eficiencia. La elección de los materiales idóneos para cada aplicación y la inclusión de sistemas de control son imprescindibles para su buen funcionamiento.

Un sistema de control es aquel que compara el valor de una variable con un valor deseado y cuando existe una desviación, efectúa una acción automática de corrección. El control es un elemento esencial de muchos sistemas de ingeniería. A medida que aumentan en complejidad (sistemas de transporte, redes de comunicación, redes de abastecimiento), los sistemas de control son más elaborados y requieren mejoras en la comunicación y el procesado de la información. Los sistemas de medida y control electrónicos son los más extendidos. En ellos los sensores perciben el estado del proceso y proporcionan una señal de salida que se envía a la unidad de control. En ésta algún “algoritmo” o “principio de control” calcula acciones de control u órdenes tendentes a llevar al proceso al estado deseado de funcionamiento. Dichas órdenes son traducidas a acciones de control, que son aplicadas al proceso mediante los actuadores.

Actualmente, los sistemas de control se utilizan en muchos campos, por ejemplo el transporte o las comunicaciones. En el primero podemos citar los dispositivos seguridad activa en automóviles, como el ESP (que mejora eficazmente el comportamiento del vehículo en caso de pérdida de trayectoria), el ABS (que impide el bloqueo de las ruedas al frenar) y el ASR (sistema de control de tracción). Los tres sistemas aumentan la seguridad dinámica de los automóviles.

En el campo de las comunicaciones por satélite, podemos citar a la ESA (European Space Agency, <http://www.esa.int>). En 1980, su Satélite de Prueba Orbital comenzó a utilizarse para enlaces de vídeo entre grupos en Alemania y el Reino Unido. Después vinieron los satélites Marecs (que revolucionó las telecomunicaciones móviles), ECS, Olympus o Artemis. El satélite de telecomunicaciones Artemis fue lanzado por un cohete Ariane 5 en 2001. Debido a un fallo de la etapa superior del cohete, Artemis no alcanzó la órbita de transferencia geoestacionaria prevista. Se estableció un plan para hacerlo llegar hasta la órbita geoestacionaria, cuya maniobra de recuperación duró 18 meses. En enero de 2003 se declaró que el satélite había alcanzado la órbita prevista. Actualmente, la ESA tiene en marcha el programa ARTES (Advanced Research on Telecommunication Satellite Systems).

El progreso de los sistemas de control en cualquier campo incluye avances en teoría de control y sistemas dinámicos, conocimientos de física y métodos numéricos, software, redes informáticas, sistemas de potencia, etc. Cada una de estas áreas es relevante, y los expertos en cada una de ellas deben tener conocimientos de las otras para mejorar su trabajo.

Busca por tu cuenta otras aplicaciones en las que el conocimiento de la Dinámica de la Partícula sea útil.

**Actividad nº 15****Presencial****En grupo****Leyes de Newton**

Una de las principales causas de accidentes en carretera son las salidas del vehículo de la calzada. Uno de los avances en seguridad activa en automóviles ha sido el programa electrónico de estabilidad (ESP), que mejora el comportamiento del vehículo en caso de pérdida de trayectoria. En estos casos el ESP actúa en coordinación con el sistema de frenos y el motor y corrige automáticamente la trayectoria, impidiendo que el conductor pierda el control del vehículo.

¿Cómo funciona? El EPS supervisa por medio de unos sensores colocados en las ruedas que se sigue la dirección deseada con el movimiento real del vehículo. Todo ello va controlado por una centralita que recibe las señales de los sensores y compara el ángulo de giro del volante con el de giro real del vehículo sobre su propio eje. Si el vehículo se sale de la trayectoria elegida, el mecanismo envía las órdenes necesarias al sistema de frenos y simultáneamente actúa sobre el régimen de vueltas del motor y sobre el cambio de velocidades si es automático. Además, como la centralita recibe también información sobre la velocidad, llegado el caso, actúa sobre la inyección cortando el flujo de combustible y evitando que el conductor pueda aumentar la velocidad al actuar sobre el acelerador. Así, el ESP corrige automáticamente la trayectoria del vehículo hacia el interior de la vía en la dirección correcta y también evita que el vehículo patine en las situaciones extremas: el automóvil obedece los movimientos del volante y se mantiene estable.

En la sección de I+D de una empresa automovilística, se está realizando un estudio previo para el desarrollo posterior de un nuevo modelo de EPS. Como parte de esta primera fase, un equipo de ingenieros se encarga del estudio los parámetros de los que depende la salida de la vía cuando un vehículo avanza en una curva. Uno de los objetivos es el cálculo de la “velocidad específica” de una curva peraltada (velocidad a la que se debe circular por la curva para que no actúen fuerzas de rozamiento laterales sobre las ruedas).

**15.1.** Estudiar el movimiento de un vehículo en una curva peraltada. Calcular la velocidad específica.

**15.2.** ¿Qué ocurre si la curva no está peraltada?

**Actividad nº 16**

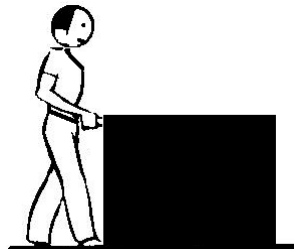
**Presencial**

**Individual**

**Momento lineal. Momento angular. Energía. Fuerzas conservativas y energía potencial.  
Teoremas del momento lineal, del momento angular y de la energía.**

En esta actividad vamos a intentar definir las magnitudes físicas se utilizan en el estudio del movimiento de un objeto y las relaciones que existen entre ellas. Para ello vamos a centrarnos en un caso simple: una persona que desea mover una caja.

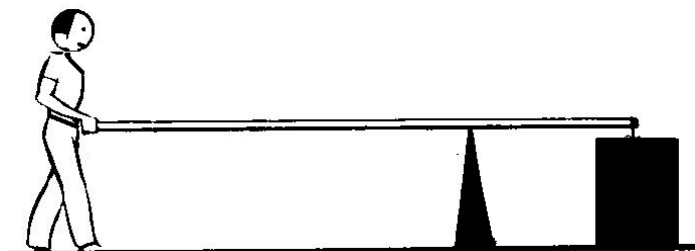
**16.1.** En primer lugar la persona empuja la caja sobre un suelo liso. ¿Qué le ocurre a la caja? ¿Qué magnitudes físicas de la caja cambian? ¿Depende este cambio de la fuerza con la que la persona empuja? ¿Y del tiempo que está empujando?



**16.2.** En el caso anterior, ¿depende el movimiento de la caja del tipo de superficie en la que se apoya? ¿Qué ocurre si el suelo es muy rugoso? ¿Qué magnitudes físicas se ven afectadas?

**16.3.** En el caso anterior, ¿depende el movimiento de la caja de la forma en la que la persona empuja? ¿En qué dirección resulta más efectiva la fuerza? ¿Qué magnitudes físicas se ven afectadas al variar la dirección de la fuerza?

**16.4.** A continuación, la persona mueve la caja utilizando una palanca. ¿Qué ocurre? ¿Qué magnitudes físicas de la caja cambian? ¿Depende este cambio de la fuerza con la que la persona empuja la palanca? ¿Y de la distancia? ¿Y de la forma en que empuja la palanca? ¿Y del tiempo?



**Actividad nº 17****Presencial/En casa      En grupo****Trabajo de laboratorio. Esta actividad se recogerá para su corrección.****Construcción de un aparato para medir fuerzas.**

Esta actividad consiste en construir un dinamómetro sencillo, caracterizarlo y confeccionar un catálogo técnico para su comercialización.

**17.1.** Diseñar un experimento de que permita utilizar un muelle como dinamómetro. Para la construcción del sistema experimental se dispone de material variado.

**17.2.** Realizar el montaje y las medidas necesarias para graduar el dinamómetro.

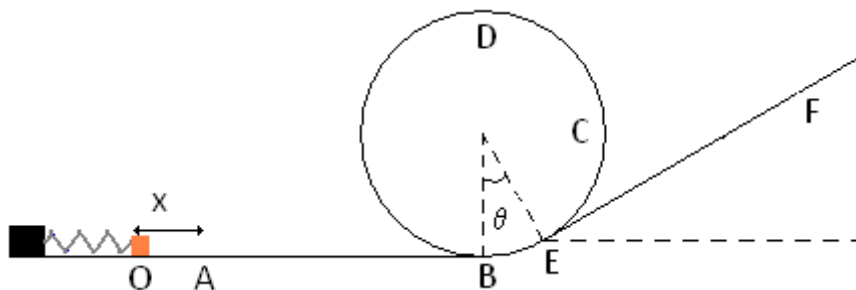
**17.3.** Realizar las pruebas necesarias para comprobar su correcto funcionamiento y caracterizar el aparato (rango de medida, error experimental).

**17.4.** Confeccionar un catálogo para la venta y distribución del nuevo aparato. Los contenidos mínimos del catálogo son: Descripción del aparato (con fundamento teórico); Instrucciones de empleo; Características técnicas; Precauciones.

**Actividad nº 18**
**Presencial**
**En grupo**
**Teorema de la energía. Fuerzas conservativas y energía potencial.**

Se lanza desde el punto O una partícula de masa  $M$  mediante un dispositivo que consiste en un muelle comprimido una distancia  $x$ . El muelle empuja a la partícula que sale desde el punto A con velocidad  $v_A$ , desliza a lo largo de un plano horizontal hasta B, entra en un bucle, describe el rizo, pasa a un plano inclinado y se detiene en E.

Solo existe rozamiento entre la partícula y el suelo en los tramos AB y EF. Se conocen los siguientes parámetros: la masa de la partícula  $M$ , la constante elástica del muelle  $K$ , las distancias  $x$ ,  $d_{AB}$ ,  $d_{EF}$ , el radio de la circunferencia  $R$ , el ángulo  $\theta$ , el coeficiente de rozamiento dinámico  $\mu$ .



**18.1.** Dibujar todas las fuerzas que actúan sobre la partícula y escribir la segunda ley de Newton en: un punto intermedio del tramo AB; en los puntos C y D; en un punto del plano inclinado entre E y F.

**18.2.** ¿Es alguna de las fuerzas que actúan sobre la partícula conservativa? Identificarlas.

**18.3.** Calcular el trabajo de todas las fuerzas en los tramos OA, AB, BC, CD; DB, BE y EF. Escribir la expresión del Teorema de la energía entre A y F.

**18.4.** ¿Qué condición tiene que cumplirse en el punto D para que la partícula rice el rizo?

**Actividad nº 19**

**En casa Individual**

**Esta actividad se recogerá para su corrección.**

El “puenting” consiste en saltar desde lo alto de un puente con los tobillos sujetos a una cuerda elástica, que frena la caída con suavidad. Las dos primeras fases del movimiento pueden describirse de forma sencilla. Primero, el saltador cae libremente con la cuerda destensada hasta que la cuerda se estira por completo ( $L_1$ ). Posteriormente, la cuerda se estira elásticamente hasta detener la caída del saltador en su punto más bajo, en el que la cuerda mide  $L_1+L_2$ . En esta segunda fase puede aceptarse que la cuerda cumple la ley de Hooke, es decir que se comporta como un muelle ideal de constante  $k$ .

Supongamos que un aficionado al puenting, de 75 kg de masa, dispone de una cuerda de longitud  $L_1=50\text{m}$  y quiere usarla para saltar desde un puente de altura  $h=110\text{ m}$ . Antes de lanzarse quiere tener ciertas garantías de que su cuerda es adecuada y realiza algunas comprobaciones. Para tener un dato experimental sobre la elasticidad de la cuerda, este aficionado se cuelga de la cuerda y comprueba que, en equilibrio, se alarga 12.5 m.

**19.1.** Calcular la constante elástica de la cuerda.

**19.2.** Despreciando la resistencia del aire y suponiendo que el saltador se deja caer sin velocidad inicial, hacer una estimación de la longitud máxima que llegará a tener la cuerda. ¿Es prudente utilizar esta cuerda para saltar desde el puente indicado?

**19.3.** Hacer una representación gráfica de la aceleración del saltador en función de la distancia vertical recorrida desde la parte superior del puente, hasta el punto más bajo de la caída. Durante este proceso de caída ¿cuál es la aceleración máxima a la que se ve sometido el saltador? ¿Es peligrosa esta aceleración?

**19.4.** Tras conocer los resultados anteriores, una persona muy miedosa decide utilizar dos cuerdas iguales para realizar el salto. ¿Es acertada su decisión?



### Actividad nº 20

Presencial/En casa      En grupo

Esta actividad se recogerá para su corrección.

El aumento de la seguridad en las estaciones ferroviarias exige que, en caso de necesidad, los trenes sean frenados al final de la vía de forma eficiente. El desarrollo de parachoques especializados ha de tener en cuenta las características individuales de los trenes utilizados.

Cuando un vehículo se desplaza, genera una determinada cantidad de energía cinética. Para frenar el vehículo en caso de emergencia, la mayor parte de esta energía debe disiparse en forma de calor en los frenos y las ruedas. Si estos no bastan para frenar, será inevitable la colisión y el vehículo absorberá la mayor parte de la energía residual mediante deformación plástica. A fin de limitar los daños ocasionados a los pasajeros en caso de accidente, es necesario evitar la deformación del compartimiento de los pasajeros mediante control de la deformación en las partes donde no hay personas. Cualquiera que sea el material utilizado, las áreas estudiadas para soportar el choque serán, por consiguiente, menos resistentes que el compartimiento de pasajeros. Así mismo, mientras más larga sea la zona de deformación, más bajo será el promedio de desaceleración para los pasajeros.



**EMCOR**



La figura muestra la parte delantera de una locomotora. En ella se pueden ver los toques de seguridad en caso de colisión. Los toques pueden incluir un módulo de choque y elementos que absorben la energía del tren al frenar. Por simplicidad, vamos a suponer que el módulo de choque consiste en un muelle que se comprime cuando el tren choca contra algún obstáculo, seguido de elementos absorbentes que se ocuparán de evitar la oscilación tras el choque.

**20.1.** Realizar una evaluación de la deformación máxima del muelle cuando un tren entra con una velocidad  $v_0$  en una estación de longitud  $L$ . Suponer que los frenos producen una fuerza constante durante todo el trayecto y que hay rozamiento entre las ruedas y el carril.

**20.2.** Realizar una evaluación del valor de  $v_0$  teniendo en cuenta la seguridad de los viajeros. La seguridad de los viajeros aconseja que la deceleración del tren no supere  $g/2$ .

NOTA: para simplificar las operaciones, puede suponerse que, una vez que el parachoques empieza a funcionar, las fuerzas debidas a los frenos y al rozamiento son despreciables.

**Actividad nº 21****Presencial****En grupo****Esta actividad finalizará con una puesta en común.****Recapitulación:**

Al principio de esta lección decíamos que el objetivo era responder a las siguientes preguntas:

**¿Qué relación existe entre el movimiento de un cuerpo y las causas que lo producen?**

*¿Qué produce el movimiento de las partículas? ¿Qué son las fuerzas? ¿Cómo se comportan?*

*¿Qué leyes físicas rigen el movimiento de las partículas en el marco de la Física Clásica?*

*¿Qué alternativas tenemos cuando la segunda ley de Newton no se puede resolver de forma analítica?*

*¿Qué magnitudes físicas se utilizan en el estudio del movimiento de un objeto?*

*¿Cómo se relacionan entre sí las magnitudes físicas se utilizan en el estudio del movimiento de un objeto?*

Antes de empezar a trabajar con las actividades, intentamos responder a las preguntas planteadas, y comprobamos nuestros conocimientos previos. Ahora es el momento de volver sobre las preguntas y comprobar qué es lo que hemos aprendido.

Para ello, cada grupo responderá a cada una de las preguntas y después haremos una puesta en común, en la que confeccionaremos un panel en el que sumaremos todas las ideas.

Al finalizar la actividad, uno de los grupos quedará encargado de recoger las ideas del panel, escribirlas en un editor de texto y hacerlo llegar a todos/as.

## BIBLIOGRAFIA

“Física para la Ciencia y la Tecnología”

P. A. Tipler y G. Mosca, Reverte 2005, 5ª Edición.

“Física”

M. Alonso y E. J. Finn, Addison-Wesley 1992.

“Physics”

J. D. Cutnell y K. W. Johnson, Wiley 2007, 7ª Edición.

“Física con ordenador. Curso interactivo de Física en Internet”

Angel Franco, <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>

“HyperPhysics”

©C.R. Nave, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>



Macho, E. (2011). Mecánica de la partícula. <http://www.ikd-baliabideak/ik/Macho-03-2011-ik.pdf>



**Reconocimiento - NoComercial - CompartirIgual (by-nc-sa):** No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original.