

A portrait of Isaac Newton, showing him with long, wavy hair, looking slightly to the right. The portrait is semi-transparent and overlaid on a grid background.

Dinámica

Leyes de Newton

Guía didáctica

Luís Ignacio García González

Requisitos del sistema

Configuraciones mínimas

Windows

Procesador Intel® Pentium® II a 450 MHz o superior
(o equivalente)
128 MB de RAM

Macintosh

Procesador PowerPC® G3 a 500 MHz o superior
128 MB de RAM

Configuraciones recomendadas

Windows

- Procesador Intel Pentium III de 800 MHz (o equivalente) y versiones posteriores
- Windows 2000, Windows XP
- 256 MB de RAM
- Pantalla de 16 bits de 1024 x 768 (se recomienda de 32 bits)
- 710 MB de espacio en disco disponible

Macintosh

- 600 MHz PowerPC G3 y versiones posteriores
- Mac OS X 10.3, 10.4
- 256 MB de RAM
- Pantalla de 1024 x 768, con miles de colores (se recomiendan millones de colores)
- 360 MB de espacio en disco disponible

Sistemas operativos y navegadores

Windows

Plataforma	Navegador
Microsoft® Windows® 98	Microsoft Internet Explorer 5.5, Firefox 1.x, Mozilla 1.x, Netscape 7.x o posteriores, AOL 9, Opera 7.11 o posteriores
Windows Me	Microsoft Internet Explorer 5.5, Firefox 1.x, Mozilla 1.x, Netscape 7.x o posteriores, AOL 9, Opera 7.11 o posteriores
Windows 2000	Microsoft Internet Explorer 5.x, Firefox 1.x, Mozilla 1.x, Netscape 7.x o posteriores, CompuServe 7, AOL 9, Opera 7.11 o posteriores
Windows XP	Microsoft Internet Explorer 6.0, Firefox 1.x, Mozilla 1.x, Netscape 7.x o posteriores, CompuServe 7, AOL 9, Opera 7.11 o posteriores
Windows Server™ 2003	Microsoft Internet Explorer 6.0, Firefox 1.x, Mozilla 1.x, Netscape 7.x o posteriores, CompuServe 7, AOL 9, Opera 7.11 o posteriores

Macintosh

Plataforma	Navegador
Mac OS X v.10.1.x, 10.2.x, 10.3.x o 10.4.x	Firefox 1.x, Mozilla 1.x, Netscape 7.x o posteriores, AOL 9 para Mac OS X, Opera 6, Safari 1.x o posteriores

Accesibilidad

Con el fin de facilitar el acceso, se ha dotado a las partes fundamentales de la aplicación de un sistema de audio y de un sistema de navegación (alternativo al de los botones que aparecen en pantalla) que utiliza el teclado de la siguiente manera:

La portada contiene el menú principal de la aplicación cuyas partes esenciales son accesibles mediante las siguientes teclas:

- ✓ **Pulsar 0** para acceder al audio de la Guía de Accesibilidad.
- ✓ **Pulsar 1** para iniciar el bloque dedicado a Fuerzas y Acciones.
- ✓ **Pulsar 2** para iniciar el bloque dedicado a las Leyes de Newton.
- ✓ **Pulsar 3** para iniciar el bloque dedicado al Rozamiento.
- ✓ **Pulsar 4** para iniciar el bloque dedicado al estudio de los Sistemas no Inerciales.

Una vez situado en alguno de los bloques:

- ✓ **Pulsar Flecha Derecha** para saltar a la pantalla siguiente.
- ✓ **Pulsar Flecha Izquierda** para retroceder a la pantalla anterior.
- ✓ **Pulsar Flecha Arriba** para Repetir la pantalla que se muestra.
- ✓ **Pulsar Flecha Abajo** para ir a la portada.
- ✓ **Pulsar Shift (Mayúsculas)** para escuchar el audio.

Introducción

Entre la gran cantidad de estudios llevados a cabo acerca de las concepciones de los estudiantes sobre los fenómenos naturales, ningún área de contenido ha recibido mayor atención que la correspondiente a “fuerza y movimiento”.

Richard Gunstone y Michael Watt en *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*.

Si se preguntara a profesores de Física de enseñanza secundaria cuál creen que es el tema clave, básico, para entender la mayoría de los conceptos que se desarrollan en este nivel, habría un elevado consenso en otorgar a la dinámica newtoniana y sus leyes este puesto de privilegio. Y es que la llamada Física Clásica, desarrollada en los siglos XVIII y XIX, se asentó en la obra de Newton y el éxito fue tan grande que en la última década del s. XIX daba la impresión que se había conseguido integrar ramas tan dispares como la mecánica, la óptica, la electricidad, el magnetismo o el calor dando un enorme paso en la dirección ya apuntada por Descartes: “ ... he llegado a comprender que todas las ciencias están conectadas como una cadena”.

La importancia de que los alumnos/as conozcan y comprendan adecuadamente esta parte de la Física no se escapa a ningún docente, de ahí la multitud de propuestas didácticas existentes que tratan de lograr una adecuada asimilación de los fundamentos teóricos implicados y su aplicación a casos reales.

Que las cosas se expliquen correctamente desde la primera toma de contacto con la materia es, evidentemente, una condición indispensable para evitar la persistencia de errores conceptuales. Es muy posible que esta corrección que se pretende pase por suministrar evidencias visuales y experimentales difíciles de tener si no es a través de simulaciones.

Sin embargo, la cosa no es nada sencilla. La observación cotidiana de los fenómenos conduce a que nuestros alumnos integren en su estructura mental una explicación similar a la teoría aristotélica o a la de los *ímpetus* (Jean Buridan). Es más, diversos estudios demuestran que esta manera de ver las cosas es tan persistente y tan difícil de sustituir por la concepción newtoniana que después de varios cursos de física un porcentaje importante sigue sosteniendo que para que un cuerpo se mueva con velocidad constante ha de actuar sobre él una fuerza que le comunique dicha velocidad.

La física aristotélica

Si hubiera que resumir en una frase la concepción aristotélica de lo que hoy conocemos como dinámica (relación fuerza-movimiento) probablemente ésta sería:

“Todo lo que se mueve es movido por algo”

Por tanto el mantenimiento del movimiento exige la acción de un motor (motor conjunctus) que actúa por contacto. Una causa (fuerza) constante comunicará al cuerpo una velocidad constante.

Aristóteles considera el movimiento como un proceso de cambio, siendo el reposo el estado natural de los cuerpos.

Si los cuerpos pesados tienden a bajar y los livianos a subir es porque de esta manera tienden a ir hacia su “lugar natural”. La tierra y el agua (“elementos pesados”) se mueven hacia el centro de la Tierra, mientras que el aire y el fuego (“elementos livianos”) tenderán a subir para ocupar su lugar. Como todos los objetos materiales están formados por estos cuatro elementos, se moverán de forma natural en función de su composición:

“El movimiento de un objeto hacia abajo o hacia arriba es gobernado por el balance de los elementos, de tal manera que su velocidad es proporcional a la cantidad de elemento predominante.”

Siempre podemos forzar a un objeto a que se mueva de forma no natural (por ejemplo cuando lanzamos una piedra hacia arriba) violentando su naturaleza. Los movimientos violentos se oponen siempre a los naturales, que se realizan de forma espontánea.

¿Por qué cae una piedra?

Porque, espontáneamente, trata de ocupar su lugar natural. Una piedra más pesada caerá más rápidamente que una más ligera (la velocidad es proporcional a la masa de la piedra). El motor responsable de la velocidad es el medio en el que se mueve, que empuja constantemente la piedra.

¿Por qué un cuerpo en reposo comienza a moverse?

Para que comience a moverse hay que ejercer una acción sobre él ya que su estado natural es el reposo. Estamos ante un movimiento violento. De ahí que en cuanto cesa la acción el cuerpo se detiene por su tendencia natural al reposo.

Teoría del “ímpetus”

Jean Buridan (1300–1358)

El motor comunica al objeto una cualidad (*ímpetus*) que actúa manteniendo su velocidad. Una vez introducido, el *ímpetus* tiene una existencia independiente del motor que la imprime, razón por la cual éste ya no es necesario para mantener el movimiento. Esta cualidad motriz va disminuyendo debido al rozamiento con el aire (el medio deja de ser motor para pasar a oponerse al movimiento) o a la tendencia de los cuerpos al movimiento natural. De ahí que los cuerpos tiendan a pararse si una vez que son forzados a dejar el reposo mediante un impulso inicial, (que le comunica un *ímpetus*) son abandonados (el *ímpetus* comunicado inicialmente se va consumiendo).

La cantidad de *ímpetus* que un cuerpo puede recibir es proporcional a la materia del cuerpo. Así un objeto pesado es capaz de acumular más *ímpetus* que uno ligero, tardando, en consecuencia, más tiempo en perderlo.

Este trabajo trata de ser una contribución a la didáctica del concepto de fuerza y de las Leyes de Newton. Contamos para ello con la ayuda de la simulación por ordenador que nos permite visualizar cosas que en la realidad ocurren demasiado rápido o son enmascaradas por la concurrencia de otras que impiden una apreciación clara del detalle que se pretende observar.

La aplicación consta de cuatro bloques que se pueden estudiar independientemente.

1. **Fuerzas y acciones.** Bloque que hace de introducción y en el que se desarrolla el concepto de fuerza y su influencia en el movimiento de los cuerpos. Aunque el estudio tiene un carácter cualitativo es considerado de vital importancia ya que puede contribuir a erradicar errores clásicos cometidos por los estudiantes al determinar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.
2. **Leyes de Newton.** Capítulo que tal vez pueda ser considerado como el corazón del trabajo. Se exponen las tres Leyes de la Dinámica de manera muy visual y con algunos ejemplos que pueden contribuir a una correcta comprensión.

Ligado a este bloque se encuentra uno de los laboratorios virtuales en el que los alumnos/as pueden experimentar aplicando fuerzas a un cuerpo (son configurables otras variables como la velocidad inicial y la masa) y visualizar los efectos producidos sobre su movimiento. Es posible obtener datos numéricos de aceleración, velocidad y posición del objeto en función del tiempo.

3. **Fuerzas de rozamiento.** Se dedica un bloque al estudio de las fuerzas de rozamiento por considerar que son interacciones siempre presentes en las experiencias reales. Se estudia tanto la fuerza de rozamiento cinética como la estática.

En el laboratorio virtual se pueden obtener los valores de las fuerzas de rozamiento en distintos casos a partir de la aplicación de las Leyes de Newton. Importante la distinción que se puede hacer entre fuerza de rozamiento y coeficiente de rozamiento (confusión muy corriente)

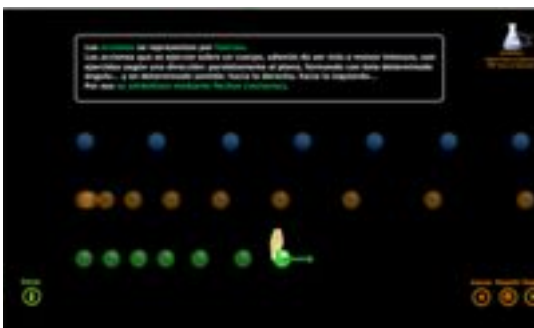
4. **Sistemas no inerciales.** Se ha introducido este bloque aunque puede ser cuestionada su pertinencia en los niveles iniciales. No obstante, una correcta explicación de los sistemas de referencia acelerados puede reforzar conceptos a la vez que marca la validez de los principios de la dinámica.

Se considera que la aplicación puede ser utilizada en ESO y Bachillerato, quedando a criterio del profesor/a la selección de bloques y experiencias.



Objetivos:

1. Establecer diferencias entre la Cinemática y la Dinámica y acotar sus campos de estudio.
2. Relacionar fuerzas y acciones.
3. Visualizar la influencia que tiene sobre el movimiento de un cuerpo la aplicación de una fuerza.
4. Comprender que las fuerzas son una representación de las acciones ejercidas sobre el cuerpo.
5. Entender que el efecto de una fuerza tiene lugar durante el tiempo que ésta actúa sobre el cuerpo.
6. Extender lo anterior al caso de fuerzas que actúen perpendicularmente a la velocidad (variación de la dirección de ésta)
7. Introducir el concepto de vector como herramienta matemática útil para representar las fuerzas.
8. Discutir el efecto que la masa de un cuerpo tiene a la hora de determinar el efecto producido por una fuerza actuante.



Como se observará, en este bloque se introducen algunos conceptos de singular importancia en dinámica. Se dedica especial atención al concepto de fuerza como expresión de una acción externa ejercida sobre el objeto considerado. La asimilación de este hecho (toda fuerza es la expresión de una acción) guiará al estudiante por el camino correcto a la

hora de determinar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo: primero determinar las acciones y

después representar cada una de ellas por una fuerza. Este es precisamente el orden que se sigue. Se muestra en una primera pantalla el efecto producido sobre un objeto (en reposo o en movimiento) cuando se actúa sobre él, haciendo visible esa acción por una fuerza representada por una flecha (vector).

La visualización del rastro del objeto a intervalos regulares de tiempo permite observar que el efecto que produce la acción es aumentar la velocidad.

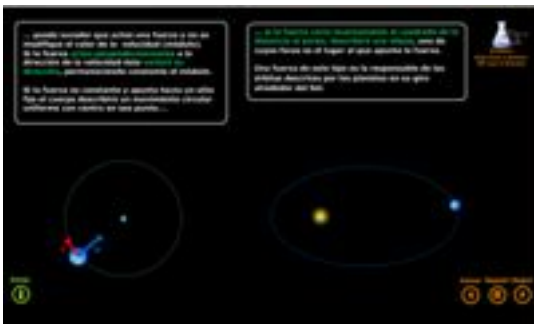


La siguiente pantalla refuerza explícitamente un aspecto fundamental, a menudo mal entendido: la acción ejercida no comunica “algo” (ímpetus) que queda almacenado y se va “gastando”.

El contador permite establecer que la velocidad permanece inalterada mientras no se ejerza una acción sobre el cuerpo (esto es $a = 0$). Mientras la fuerza

actúa, y si esta es constante, la velocidad varía uniformemente ($a \neq 0$). Es importante pararse en esta pantalla y discutir con los alumnos/as tanto estos aspectos como la diferencia entre velocidad y aceleración. La confusión entre estos dos conceptos es muy corriente en todos los niveles de enseñanza y constituye un escollo que es necesario sortear.

Se introduce a continuación un caso bastante corriente y con grandes posibilidades didácticas: la fuerza actúa perpendicularmente a la dirección de la velocidad.

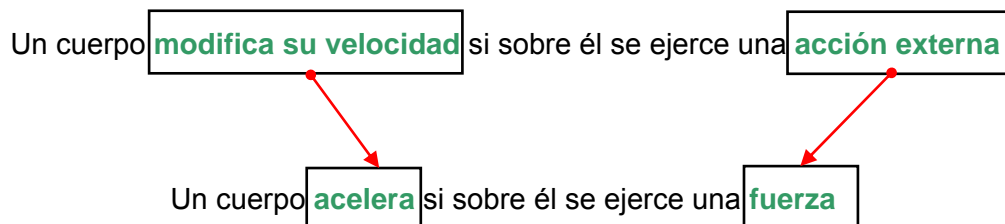


Ha de dejarse bien claro que también en este caso se produce una variación de la velocidad (aceleración), aunque esta variación se traduzca ahora en un cambio en la dirección y no en el valor (módulo) de ésta. En la ESO probablemente no sea conveniente introducir el concepto de aceleración centrípeta, aunque puede recurrirse a un ejemplo cotidiano y

bien conocido: la necesidad de agarrarse a una farola u otro objeto cuando uno va corriendo y trata de cambiar su dirección. Incluso puede plantearse (a nivel cualitativo) la necesidad de suministrar una fuerza adecuada a la velocidad para quedar “ligado” a la farola, “orbitando” alrededor de ella. En el caso de que la velocidad sea excesiva la fuerza solamente es capaz de curvar momentáneamente la trayectoria.

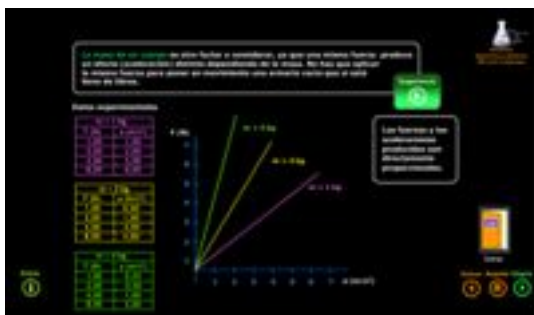
Una vez introducidos los conceptos comentados, se realiza una síntesis de lo expuesto aprovechando para formalizar el lenguaje. Se recalcan y destacan los aspectos básicos tratados que seguirán usándose en otros bloques de la aplicación.

Se comienza con una frase en “lenguaje cotidiano” que es transformada en otra con lenguaje más técnico. El uso del color permite establecer la correspondencia entre los conceptos físicos de aceleración y fuerza con variación de la velocidad y fuerza externa.



Se coloca como elemento central de la pantalla el enunciado de la correspondencia entre fuerzas y acciones y la necesidad de identificar las acciones como paso previo para determinar las fuerzas actuantes, además de indicar la unidad S. I. de fuerza. Los colores sirven, una vez más, para reforzar las principales asociaciones.

Las **fuerzas** son la representación de una **acción** ejercida sobre el cuerpo. Luego para determinar las fuerzas actuantes **debemos determinar las acciones** y representar cada una de ellas por un vector. **La unidad S. I. de fuerza es el newton (N)**



Se cierra el bloque con una mención a la influencia de la masa en el efecto producido (aceleración) por la acción de una fuerza. Se hace una descripción puramente experimental de dicho efecto.

Los datos obtenidos pueden ser verificados en el laboratorio donde se puede visualizar el movimiento en cada caso.

Es muy recomendable que se realicen las medidas propuestas y se obtengan las gráficas. El análisis cuidadoso de datos y gráficas (puede hacerse por grupos con una puesta en común final) debe llevar a conclusiones muy valiosas en las que podamos apoyarnos posteriormente.



Leyes de Newton

Objetivos:

1. Enunciar la Primera Ley de Newton o Principio de Inercia mostrando las principales implicaciones.
2. Enunciar el Principio de Relatividad a partir de la Primera Ley.
3. Enunciar y discutir experimentalmente la Segunda Ley de Newton o Principio Fundamental de la Dinámica.
4. Enunciar la Tercera Ley de Newton o Principio de Acción y Reacción mostrando algunos ejemplos de su aplicación.
5. Realizar una aproximación a la figura de Isaac Newton.
6. Diseñar y realizar actividades de laboratorio (virtual) que permitan fijar los principales conceptos implicados.

Se comienza el bloque con una pequeña presentación de Isaac Newton y de su obra, centrándose en los Principia con el fin de suministrar una referencia histórica.



La Primera Ley de la Dinámica se enuncia recalcando explícitamente la equivalencia entre reposo y movimiento uniforme, dada la importancia histórica que tuvo el Principio de Relatividad.

En los botones *Sugerencias* se propone la realización de varias experiencias de laboratorio con las cuales

se trata de que los estudiantes descubran, a partir de los datos experimentales obtenidos, que un cuerpo que se mueve sometido a la acción de una fuerza resultante nula, se mueve con velocidad constante, y que la velocidad con que se mueve depende de las condiciones iniciales. Llegar a esta conclusión e interiorizarla es, quizá, uno de los grandes retos de la

unidad ya que atenta directamente contra la “física del sentido común”, sintetizada en la máxima aristotélica de *“Todo lo que se mueve es movido por algo”*. Puede ser muy útil diversificar las experiencias por grupos de trabajo para después realizar una puesta en común que permita analizar los datos y obtener las conclusiones.

Ejemplo.

Se establecen cinco grupos distintos (si la distribución de la clase permite formar más grupos, el trabajo puede duplicarse: dos grupos realizan la misma experiencia y al final confrontan resultados para establecer su validez). Cada uno de los grupos partirá de una condición inicial (velocidad) variando el valor de las fuerzas actuantes, respetando siempre la condición de que la resultante sea nula. Cada grupo puede utilizar una tabla similar a la que se muestra para recoger sus resultados:

Grupo: 1	Velocidad inicial : 10,00 m/s	
F_{Derecha}	$F_{\text{Izquierda}}$	Comentario
0,00	0,00	Se mueve con $v = 10,00$ m/s, invariable
3,00	3,00	Se mueve con $v = 10,00$ m/s, invariable
5,00	5,00	Se mueve con $v = 10,00$ m/s, invariable
10,00	10,00	Se mueve con $v = 10,00$ m/s, invariable

→ Variar para cada grupo

Los datos recogidos por cada uno de los grupos se presentan en una puesta en común y se invita a los participantes a que los analicen y obtengan algunas consecuencias de lo expuesto. Lógicamente debería llegarse a las siguientes conclusiones:

- ✓ Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o varias que se componen para dar una resultante nula, el cuerpo se mueve con velocidad constante.
- ✓ La velocidad con que se mueve el cuerpo no depende de las fuerzas que actúan sobre él, sino de las condiciones iniciales (velocidad inicial).

Laboratorio virtual (I)

Móvil. Su posición inicial se puede fijar arrastrando la esfera azul o la línea vertical que indica el origen.

Panel de control (I)
Registra:

- Condiciones iniciales: s_0 y v_0
- Aceleración.
- Fuerza resultante.

Panel de datos. Fijar:

- Masa.
- Valores de las fuerzas actuantes (hacia la derecha y hacia la izquierda).
- Posición y velocidad inicial.

Botón Play
Inicia la visualización de la experiencia

Laboratorio virtual (II)

Cuerpo en movimiento. Se visualizan las fuerzas actuantes y su valor

Panel de valores. Registra:

- Tiempo a intervalos de 1 s durante los primeros 10 s.
- Velocidad para cada t.
- Posición para cada t.

Panel de control. (II)
Registra:

- Tiempo transcurrido.
- Velocidad.
- Aceleración.
- Fuerza resultante.

Botón Inicio.
Regreso a la pantalla anterior.

Botón Volver
Salida del laboratorio

t _i	v _i	s _i
1.00	10.00	10.00
2.00	10.00	20.00
3.00	10.00	30.00
4.00	10.00	40.00
5.00	10.00	50.00
6.00	10.00	60.00
7.00	10.00	70.00
8.0	0.0	0.0
9.0	0.0	0.0
10.0	0.0	0.0

Una vez analizados los resultados y extraída la conclusión de que un cuerpo se mueve con velocidad constante si sobre él actúa una fuerza resultante nula, es conveniente reforzar el concepto con una experiencia real. Se puede analizar el movimiento de un cuerpo sobre una mesa. ¿Por qué el cuerpo termina parándose una vez que se deja de actuar sobre él? ¿Contradice la experiencia los resultados obtenidos y el enunciado de la Primera Ley?

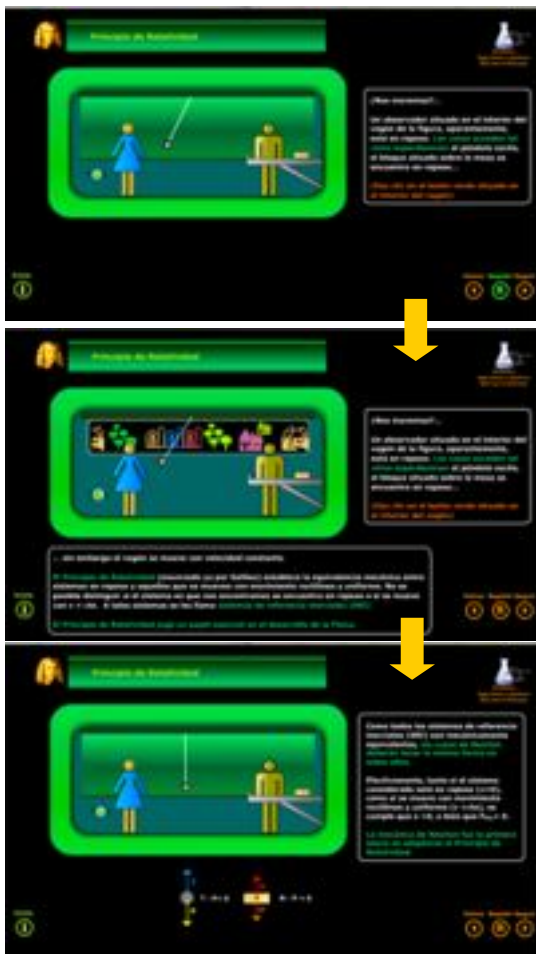
Es conveniente que el profesor/a analice cuidadosamente con los alumnos/as el caso, basándose en lo dicho hasta ahora:

1. Para determinar las fuerzas actuantes hay que analizar las acciones externas sobre el cuerpo ¿quién o qué está en contacto con él?

(Si no se ha analizado previamente se puede tener alguna dificultad para determinar la acción de la gravedad ya que ésta se ejerce sin contacto aparente. No obstante los alumnos/as no tienen ninguna dificultad en incorporarla).

2. Una vez que se repara que la mesa (plano) debe ejercer una acción sobre el cuerpo puede establecerse que esta acción depende del material, estableciendo las bases para el estudio más detallado de la fuerza de rozamiento.
3. Conocida la existencia de una fuerza de rozamiento entre el plano y el cuerpo, se hace evidente la necesidad de mantener otra fuerza que la equilibre si se quiere que el cuerpo deslice con velocidad constante, estableciéndose de esta manera la conexión con los resultados obtenidos en la simulación.

Se analiza a continuación la equivalencia mecánica entre sistemas que se encuentren en reposo o se muevan con velocidad constante. La imposibilidad de distinguir mediante un experimento mecánico entre dos de estos sistemas lleva al enunciado del **Principio de Relatividad**.



Como bien se sabe el mantenimiento de este principio para experimentos ópticos llevó al desarrollo de la Teoría de la Relatividad Especial (A. Einstein, 1905).

El tratamiento que se hace es muy visual, centrandose primero el problema en la imposibilidad de detectar el movimiento uniforme para pasar en una última pantalla a justificar lo observado aplicando la Primera Ley.

Se introduce el término **sistema de referencia inercial**, aunque probablemente en la ESO pueda considerarse excesiva esta precisión.

En función del nivel académico de los alumnos/as, puede realizarse una breve incursión en los postulados y consecuencias de la Teoría de la Relatividad Especial.



La Segunda Ley o Principio Fundamental de la Dinámica se enuncia directamente considerando que el camino para su justificación ya ha sido recorrido (al menos en parte) en el bloque de introducción. Se formalizan los resultados experimentales obtenidos entonces en la ecuación $F = m \cdot a$ y se introduce la noción de la masa como medida de la

inercia de un cuerpo, además de definir la unidad de fuerza (ya introducida anteriormente).

La Segunda Ley puede presentarse como una continuación necesaria de la primera. En ésta se dice lo que ocurre si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza (o si la resultante de las que actúan es nula), comentándose ahora qué sucede cuando la resultante no es nula.

Los botones de sugerencias invitan a realizar experiencias en el laboratorio para comprobar el efecto de la masa sobre la aceleración del cuerpo (concepto de inercia), además de incidir sobre otro aspecto importante a considerar: la identidad de dirección y sentido de la fuerza resultante y la aceleración del cuerpo.

Existe aquí la dificultad de dar signo a las magnitudes. Se debe explicar (aunque seguramente ya se ha tratado esta cuestión en el tema de Cinemática) que realmente se trabaja con magnitudes vectoriales y, en este caso, su signo indica el sentido.

Para comprobar el efecto de la masa sobre la aceleración se sugiere mantener la fuerza invariable e ir doblando la masa. Una vez realizada la experiencia se comprobará que la aceleración varía inversamente a la masa:

F = 10,00 N	
Masa (kg)	Aceleración (m/s ²)
1,00	10,00
2,00	5,00
4,00	2,50

Puede plantearse ahora qué habría que hacer para conseguir que variando la masa la aceleración se mantuviera constante. Para tomar valores que puedan ser comprobables con el rango

de masas y fuerzas que pueden ser usadas en el laboratorio virtual se aconseja comenzar con $m = 1,00 \text{ kg}$ y $F = 2,00 \text{ N}$ ($a = 2,00 \text{ m/s}^2$) y proponer mantener invariable esta aceleración doblando la masa en cada experiencia.

$a = 2,00 \text{ m/s}^2$	
Masa (kg)	Fuerza (N)
1,00	2,00
2,00	4,00
4,00	8,00

Se llegará a la conclusión de que para producir la misma variación en la velocidad es necesario ir aumentando la fuerza en la misma proporción. Por tanto a medida que aumenta la masa, cada vez cuesta más (hay que aplicar una fuerza mayor) variar su velocidad. **La masa, por consiguiente, puede considerarse como una medida de la resistencia que los cuerpos oponen a variar su velocidad (inercia).**

Entre la multitud de experiencias que se pueden plantear en el laboratorio probablemente sea muy aconsejable realizar una en la que se desmonte la creencia de que aceleración negativa significa deceleración. Para ello plantear lo siguiente:

- ▶ Arrastrar el objeto hasta colocarlo en una posición situada a 300,00 m a la derecha del origen ($s_0 = 300,00 \text{ m}$).
- ▶ Seleccionar un valor negativo para la velocidad inicial (p.e: $v_0 = - 20,00 \text{ m/s}$) y un valor también negativo de la aceleración (p.e: $a = - 6,00 \text{ m/s}^2$)

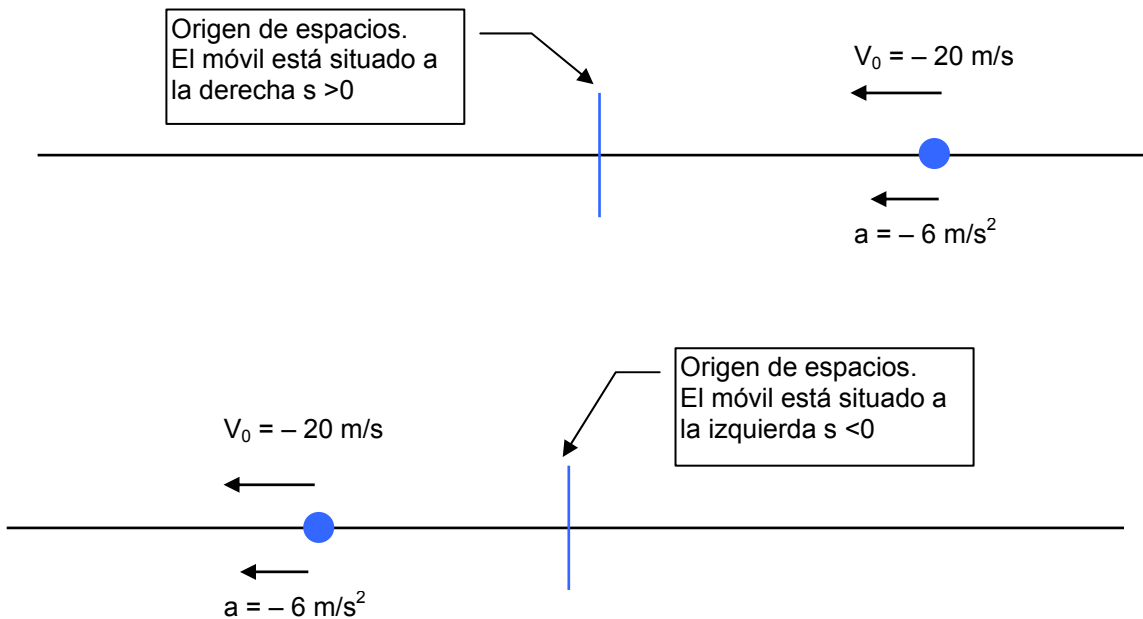
Se puede observar cómo el objeto se mueve hacia la izquierda cada vez más rápido.

Si se echa una ojeada al panel de valores se comprobará que el módulo de la velocidad es cada vez mayor y su signo siempre negativo (indicativo de que el cuerpo se desplaza hacia la izquierda).

Notar el valor positivo (al menos en los segundos iniciales del movimiento) de la magnitud distancia al origen (s). Esta magnitud tiene signo positivo si el objeto se encuentra situado a la derecha del origen (la posición del origen viene fijado por la línea vertical color azul) y negativo si se sitúa a su izquierda.



Puede completarse la experiencia (con el fin de trabajar lo que indica el signo) moviendo la posición del origen, lo que se conseguirá arrastrando la línea vertical azul. Podrá comprobarse cómo mientras el objeto se mueva a su derecha el signo de la distancia al origen (s) se mantiene positivo, cambiando a negativo cuando el móvil sobrepasa la línea y comienza a moverse a su izquierda.



Puede ser muy conveniente plantear ejercicios en los que se centre la atención en los valores y signos de las magnitudes implicadas (s, v, a, F) ya que la incorrecta asignación de los signos es una de las causas de error más frecuentes a la hora de plantear y resolver ejercicios numéricos y analizar los resultados obtenidos.



La Tercera Ley o Principio de Acción y Reacción se enuncia centrandó la atención en el hecho de que las fuerzas de acción y reacción, **al estar aplicadas sobre cuerpos distintos**, no pueden anularse y se aprovecha el hecho de que las fuerzas aparecen siempre por parejas para refinar un poco el lenguaje introduciendo la noción de **interacción**.

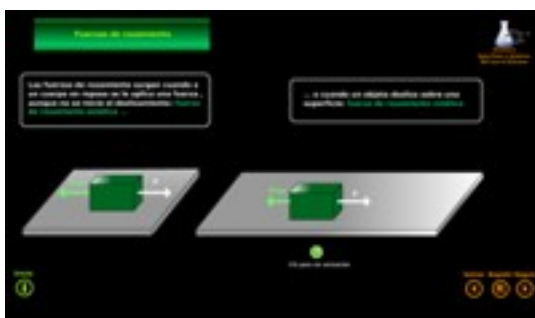
Se proponen tres ejemplos distintos en los que se trata de ilustrar esto. Uno de ellos (el tercero: esfera que se introduce en un líquido) es especialmente interesante ya que suministra una evidencia experimental para “ver” la fuerza de reacción de la esfera sobre el líquido (ver botón Sugerencia). Esta fuerza es muy pocas veces identificada por los estudiantes que tienen serias dificultades para señalar la fuerza de reacción correspondiente al empuje de los líquidos sobre los cuerpos introducidos en su seno.

Con el fin de que se puedan identificar los pares de fuerzas, éstos se muestran con idénticos colores pudiendo apreciarse, de esta manera, los puntos de aplicación de cada una.



Objetivos

1. Establecer la existencia de dos fuerzas de rozamiento: la fuerza de rozamiento estática y la cinética.
2. Determinar los factores de que depende la fuerza de rozamiento cinética y el valor que adquiere.
3. Estudiar la naturaleza de la fuerza de rozamiento estática (su carácter variable) determinando su máximo valor.
4. Distinguir entre fuerza de rozamiento y coeficiente de rozamiento.
5. Realizar experiencias de laboratorio que permitan calcular la fuerza de rozamiento estática y cinética y comprobar las variables de las que dependen.
6. Realizar experiencias de laboratorio que permitan calcular los coeficientes de rozamiento estático y cinético estableciendo su dependencia con la naturaleza y estado de las superficies que rozan.



La de rozamiento es una fuerza omnipresente en cualquier experiencia que se realice. Sin embargo tiende a prescindirse de esta interacción (sobre todo en los niveles de iniciación) considerando que puede complicar la resolución de los ejercicios. Si bien esto último es cierto, no lo es menos que el obviar el estudio de la fuerza de rozamiento puede llevar a un

conocimiento incompleto de la dinámica. En muchos casos se observa que la fuerza de rozamiento termina convirtiéndose en una especie de comodín al cual recurrir cuando las cosas no salen como se había pensado. En consecuencia, se considera muy conveniente introducir el concepto de fuerza de rozamiento estableciendo la ecuación matemática que la describe, ya que su forma matemática es sencilla y permite establecer con precisión los factores de los que

depende. Por eso desde el inicio del bloque se plantea la existencia de dicha fuerza, tanto en una situación de reposo como de moviendo del cuerpo.



Se considera que, aún en la ESO, es muy conveniente introducir la **fuerza de rozamiento cinética**. No presenta ningún problema conceptual y facilita la explicación de hechos reales y cotidianos difíciles de justificar de otra forma. Es esta la razón por la cual se presenta en primer lugar, partiendo de las evidencias experimentales y de la ecuación de definición

que las recoge.

Considerar la **fuerza de rozamiento estática** puede plantear inconvenientes más serios cuando se trata de introducir en los primeros cursos. La naturaleza un tanto peculiar de esta fuerza, que crece

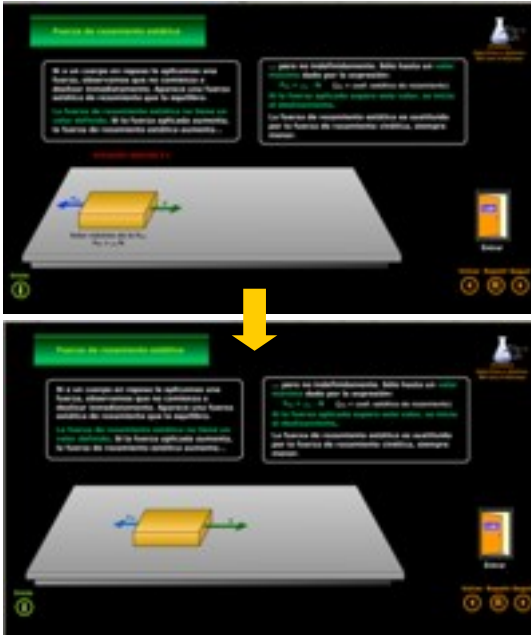


ajustándose al valor de la fuerza aplicada, desconcierta bastante. Es un error muy extendido (no sólo entre estudiantes de primeros niveles) el considerar que para que un objeto permanezca en reposo la fuerza de rozamiento estática debe adquirir un

valor "ligeramente superior" a la fuerza aplicada. Esta circunstancia proporciona una excelente ocasión para aplicar las leyes de Newton y comprobar la falsedad de dicha afirmación. Una vez establecido esto, es relativamente sencillo (con la ayuda del profesor/a) llegar a la necesidad de que la fuerza de rozamiento estática varíe en función de la fuerza aplicada mientras no exista deslizamiento. La animación que se incluye en la aplicación puede ser una excelente ayuda para fijar este concepto.

Es muy importante dejar claro que el valor de la fuerza de rozamiento estática que se obtiene multiplicando el coeficiente de rozamiento estático por la normal, es **el valor máximo de dicha fuerza** y que, salvo en este caso, el cálculo de la fuerza estática debe hacerse a partir de la condición de equilibrio: $\sum F = 0$.

La brusca transición desde el reposo al deslizamiento implica la desaparición de la fuerza de rozamiento estática y la aparición de la fuerza de rozamiento cinética, siempre más pequeña, y (aproximadamente) constante. Todo esto es bastante difícil de explicar a partir de la realización de experiencias en el laboratorio, razón por la que en la aplicación se prepara al espectador para el cambio mediante la detención durante unos segundos de la animación, justo en el momento en que está a punto de iniciarse el deslizamiento. Cuando se inicia el movimiento, aparece la fuerza de rozamiento cinética, menor que la fuerza aplicada al cuerpo. La aplicación de la Segunda Ley lleva a la conclusión de que al haber una fuerza resultante que apunta hacia la derecha, el bloque continuará su movimiento con aceleración constante, cosa que es apreciable en la animación.



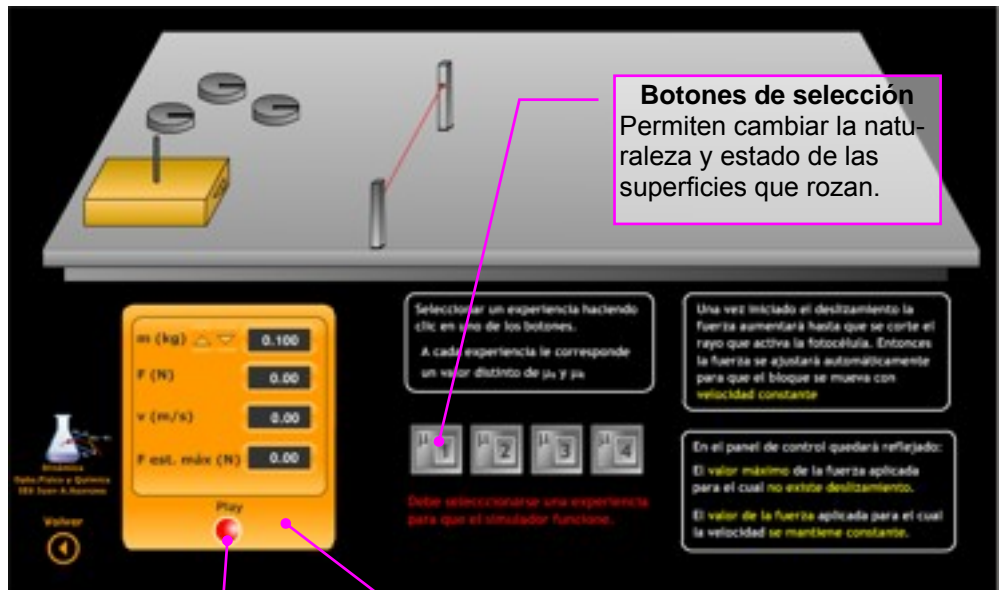
recha, el bloque continuará su movimiento con aceleración constante, cosa que es apreciable en la animación.

Al **laboratorio virtual para el estudio del rozamiento** se puede acceder desde la pantalla que describe la fuerza de rozamiento cinética o estática. En él se pueden hacer experiencias difícilmente realizables en un laboratorio escolar ya que permite ralentizar los hechos de manera que sean fácilmente observables. Se ha procurado, no obstante, que en lo básico, las cosas sean tan próximas a la realidad como sea posible, dejando que sea el experimentador/ra quien analice y resuelva el problema planteado. Por esa razón en la animación aparecen y son medidas sólo las fuerzas que se aplican externamente al bloque. La aplicación de las normas aprendidas en esta unidad debe permitir completar el diagrama de fuerzas actuantes y establecer las ecuaciones matemáticas que, una vez resueltas, conduzcan a la determinación de las magnitudes problema.

Es posible realizar experiencias sobre distintas superficies. También es configurable la masa del bloque.

Se proponen a continuación algunos ejemplos de actividades que se pueden llevar a cabo en el laboratorio.

Es preciso recordar que el orden y el cuidado en la recogida de los datos son esenciales y, en consecuencia, deben cuidarse.

**Botones de selección**

Permiten cambiar la naturaleza y estado de las superficies que rozan.

Botón Play

Comienza la experiencia. No funcionará si no se ha seleccionado previamente alguna experiencia mediante los botones de selección.

Panel de datos

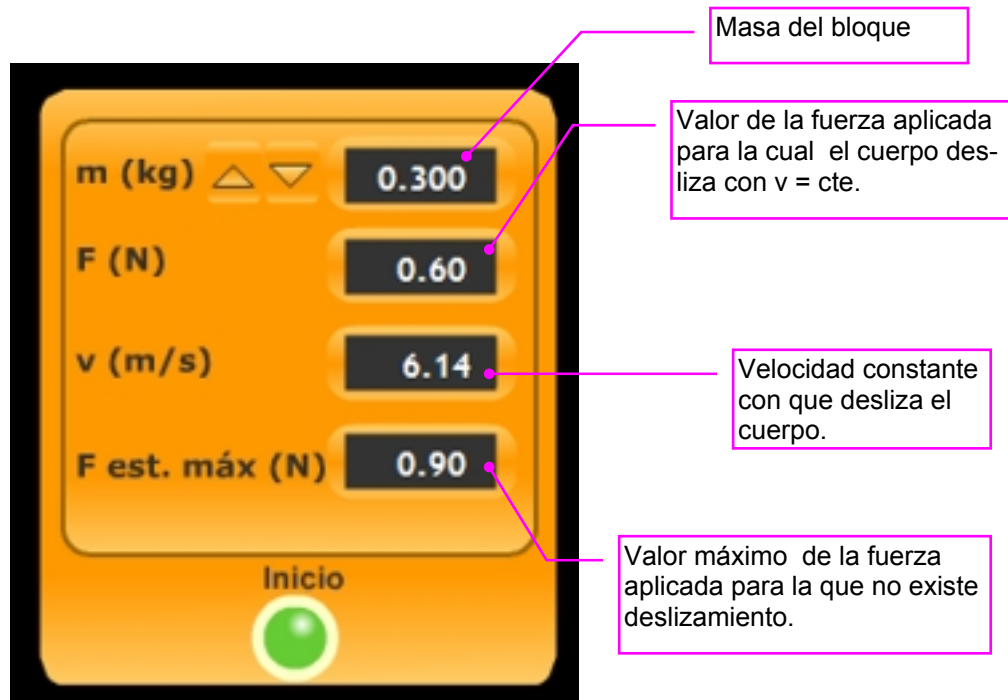
- Masa del cuerpo
- Fuerza aplicada
- Velocidad
- Valor máximo de la fuerza sin que exista deslizamiento

El laboratorio funciona de la siguiente manera:

- ✓ **Seleccionar el valor de la masa** añadiendo pesas al bloque. Por defecto la masa del bloque (sin ninguna pesa) es de 0,100 kg.
- ✓ **Seleccionar la experiencia** haciendo clic en uno de los botones de selección. Para cada experiencia varía la superficie sobre la que desliza el bloque, circunstancia que se hace visible por el cambio de color de la zona de deslizamiento.
- ✓ **Clic en el botón Play** para que comience la experiencia. Este botón permanecerá inactivo si previamente no se ha seleccionado ninguna experiencia (un mensaje lo advierte).

Una vez que empieza la experiencia (el número de la que hemos seleccionado se nos mostrará en pantalla) comienza a aumentar lentamente la fuerza aplicada al bloque. Su valor se puede ver en el campo correspondiente del panel. Se puede observar cómo al principio, aunque esta fuerza adquiere un valor apreciable, no existe deslizamiento debido a la existencia de la fuerza de rozamiento estática. Llegará un momento en que la fuerza de rozamiento estática alcance su máximo valor. Como la fuerza aplicada sigue aumentando comienza el deslizamiento. El valor máximo de la fuerza aplicada para la cual no existe deslizamiento quedará registrado en el campo ***F est. máx (N)***

Una vez iniciado el deslizamiento la fuerza aplicada seguirá aumentando hasta que la varilla del bloque, usada como soporte de las pesas, corte el haz de luz roja que activa/desactiva una fotocélula. A partir de ahí el valor de la fuerza aplicada se ajusta automáticamente para que el cuerpo siga moviéndose con velocidad constante. El valor de esta fuerza queda entonces registrado en el panel:



Cálculo de la fuerza de rozamiento estática.

En todo momento el valor de la fuerza de rozamiento estática se puede calcular a partir de la condición de equilibrio: $F - F_s = 0$.

Por tanto en el instante que adquiere su valor máximo ($F_{s \text{ máx}} = \mu_s N$) se tiene:

$$F_{\text{máx}} - F_{s \text{ máx}} = 0; \quad F_{s \text{ máx}} = F_{\text{máx}}$$

Cálculo del coeficiente de rozamiento estático.

A partir de la condición de equilibrio y el valor máximo de la fuerza de rozamiento se tiene:

$$F_{s \text{ máx}} = F_{\text{máx}}; \quad \mu_s N = F_{\text{máx}}; \quad \mu_s = \frac{F_{\text{máx}}}{N} = \frac{F_{\text{máx}}}{m g}$$

Cálculo de la fuerza de rozamiento cinética.

Una vez que el bloque se mueve con velocidad constante tendremos:

$$F - F_k = 0; \quad F_k = F$$

Cálculo del coeficiente de rozamiento cinético.

Introduciendo en la expresión anterior el valor de la fuerza de rozamiento cinético y operando se obtiene:

$$F_k = F; \quad \mu_k N = F; \quad \mu_k = \frac{F}{N} = \frac{F}{m g}$$

Experiencia 1.

Estudio de la fuerza de rozamiento al variar la naturaleza (y estado) de las superficies en contacto.

Para realizar la experiencia fijamos la masa en un valor (p.e. 0,100 kg) y vamos variando la naturaleza de la superficie sobre la cual desliza el bloque (botones de selección). Los valores obtenidos se recogen en una tabla. Para el cálculo de los coeficientes de rozamiento se han usado las expresiones deducidas más arriba

m = 0,100 kg				
Nº Experiencia	F_s	F_k	μ_s	μ_k
1	0,30	0,20	0,30	0,20
2	0,59	0,45	0,59	0,45
3	0,40	0,30	0,40	0,30
4	0,55	0,40	0,55	0,40

Como se puede observar, ambos coeficientes de rozamiento varían al hacerlo la superficie sobre la cual desliza el bloque. La fuerza de rozamiento, en consecuencia, también variará. Esto nos confirma que **el valor del coeficiente de rozamiento depende de la naturaleza y estado de las superficies que rozan.**

Experiencia 2**Estudio de la fuerza de rozamiento cuando varía la masa del cuerpo.**

Para realizar la experiencia seleccionamos (y dejamos fija) la superficie sobre la cual desliza el cuerpo y vamos variando la masa del bloque. Se suministran como ejemplo los valores obtenidos para la experiencia 1:

Experiencia 1				
Masa (kg)	F_s	F_k	μ_s	μ_k
0,100	0,30	0,20	0,30	0,20
0,200	0,60	0,40	0,30	0,20
0,300	0,90	0,60	0,30	0,20
0,400	1,20	0,80	0,30	0,20

Importante reparar en el hecho de que, **aunque la fuerza de rozamiento va aumentando conforme lo hace la masa del cuerpo, el coeficiente de rozamiento (estático y dinámico) permanece inalterado.**

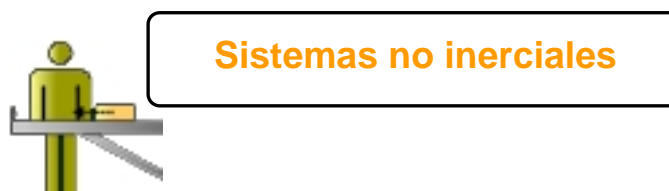
Efectivamente, aunque la fuerza de rozamiento depende de la masa del cuerpo el coeficiente de rozamiento no (sólo depende de la naturaleza y estado de las superficies en contacto)

Es muy corriente que los estudiantes no diferencien fuerza de rozamiento y coeficiente, identificando ambas magnitudes. Esta experiencia puede servir para evitar este error.

Nota:

En el apartado de *Enlaces* y en la URL de Nano-world (apartado dedicado a la fricción macroscópica) hay unos vídeos que permiten visualizar experiencias en las que se muestra la independencia de la fuerza de rozamiento (cinética) con la superficie de contacto (Ley de Leonardo da Vinci); la proporcionalidad con la masa del cuerpo (Ley de Euler-Amontons) y la independencia con la velocidad (Ley de Coulomb):

<http://www.nano-world.org/frictionmodule/content/0100appetizer/?lang=en>



Objetivos

1. Realizar una introducción a la descripción de sistemas de referencia acelerados.
2. Visualizar los efectos de la inercia sobre objetos localizados en sistemas no inerciales que se mueven en línea recta según el eje X.
3. Idem para objetos situados en un sistema que describe una curva con $v = \text{cte}$.
4. Comprobar la equivalencia entre sistemas sometidos a la acción de un campo gravitatorio uniforme y a un movimiento uniformemente acelerado según el eje Y.
5. Insinuar las limitaciones de la mecánica newtoniana y su superación por la Teoría de la Relatividad (Especial y General) de A. Einstein.

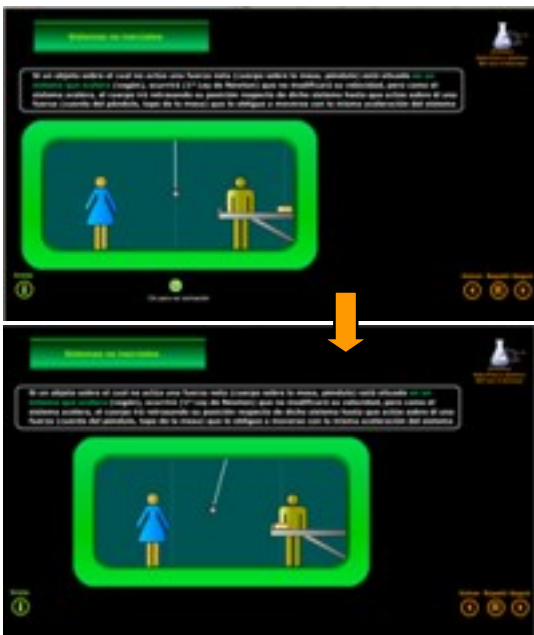
Probablemente pueda parecer atrevido incluir este capítulo en un trabajo destinado a la dinámica en enseñanza secundaria, pero lo cierto es que su conocimiento aporta una visión bastante exacta del campo de validez de las Leyes de Newton, a la vez que puede servir de punto de partida para introducir algunos de los puntos de partida que guiaron a Einstein a establecer la Teoría General de la Relatividad.

Tal vez sea demasiado arriesgado tratar este capítulo en la ESO ya que en este nivel los alumnos/as se están iniciando en el estudio de la dinámica y la asignación correcta de las fuerzas

que actúan sobre un cuerpo es, seguramente, uno de los objetivos básicos a alcanzar. Por esta razón puede resultar contraproducente introducir “fuerzas” que no responden a acción alguna.

Sin embargo en Bachillerato parece muy aconsejable realizar una introducción a los sistemas no inerciales ya que fenómenos que se experimentan cotidianamente (“fuerza centrífuga” que se experimenta en el interior de un automóvil que describe una curva, tendencia a irse hacia delante cuando el autobús frena, sensación de pérdida de peso cuando el ascensor inicia el descenso...) tienen su explicación en la física que se aplica a dichos sistemas.

La posibilidad de generar animaciones en las que se aprecia visualmente lo que sucede desde el exterior del sistema (observador inercial) y desde el interior de éste (observador no inercial) permite establecer con precisión la validez de las Leyes de Newton para el primero y justificar la necesidad de introducir las *fuerzas de inercia* cuando la descripción se hace desde “dentro” del sistema. Desde este punto de vista se considera importante la justificación de la “*fuerza centrífuga*”, denominación que forma parte del lenguaje ordinario y que aparece (casi siempre de forma incorrecta) cuando se discuten situaciones relacionadas con el movimiento circular de un cuerpo.



Se inicia el bloque comentando lo que sucede en un sistema que se mueve según el eje X con movimiento uniformemente acelerado. La animación ofrece la visión de un observador inercial situado fuera del vagón. Éste ve cómo los objetos tienden a permanecer en reposo (al no actuar sobre ellos ninguna fuerza) mientras que el vagón acelera hacia la derecha. El resultado es que los objetos se desplazan respecto del vagón en sentido contrario a su marcha.

Un observador inercial puede explicar lo que sucede aplicando estrictamente las Leyes de Newton ya estudiadas, mientras que un observador situado en el interior del sistema deberá recurrir a introducir fuer-

zas para las cuales, aparentemente, y siguiendo las normas establecidas para su determinación (a cada fuerza debe corresponderle una acción), no existe justificación. Son las fuerzas de inercia:

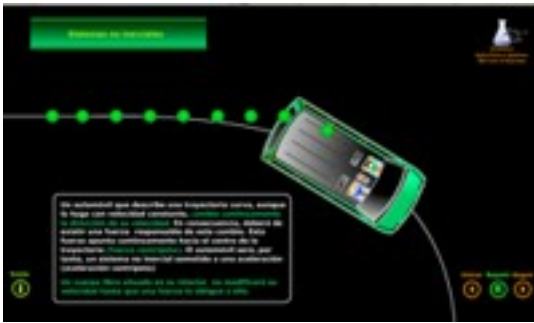
$$F_{\text{inercia}} = m \cdot a$$

m = masa del objeto considerado.

a = aceleración de valor igual a la aceleración del sistema, misma dirección y sentido contrario.

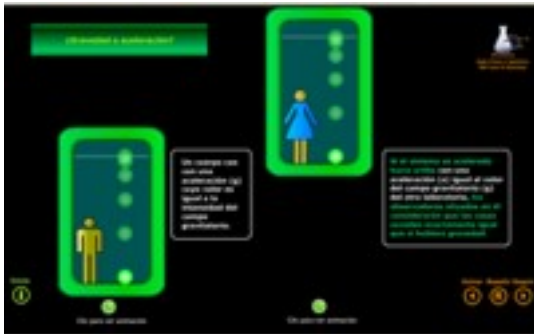
La utilización de las fuerzas de inercia permite aplicar las dos primeras leyes de la dinámica en sistemas no inerciales, aunque la Tercera Ley o Principio de Acción y Reacción no es aplicable en este tipo de sistemas.

Considerando lo dicho parece imprescindible, desde el punto de vista didáctico, que los estudiantes se acostumbren a fijar el sistema de referencia desde el cual se realiza la descripción. Si el sistema elegido posee aceleración (sistema no inercial) se deberán introducir las fuerzas de inercia como un artificio destinado a garantizar la aplicabilidad de las Leyes de Newton (sólo las dos primeras).



La consideración de sistemas de referencia que se muevan describiendo una trayectoria curva (aún cuando el módulo de la velocidad permanezca invariable) conduce a su clasificación como sistemas no inerciales, surgiendo de esta manera, de forma natural, la **fuerza centrífuga** como una fuerza de inercia que debe ser tenida en cuenta cuando los cálculos

se realizan desde el interior del sistema.



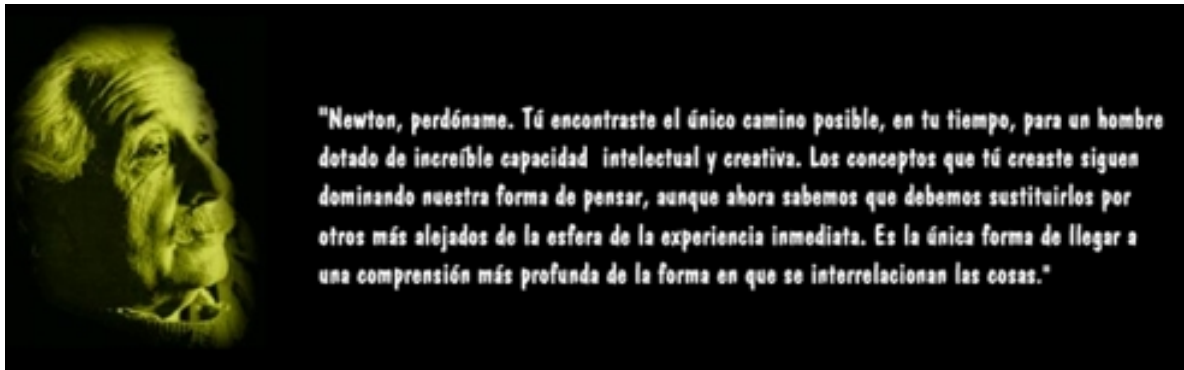
Si siguiendo el discurso de sistemas no inerciales se considera a continuación la posibilidad de que el movimiento se realice en dirección vertical. Resulta inevitable en este punto establecer la equivalencia entre un sistema ideal (no sometido a la acción de la gravedad) que acelere en dirección vertical y hacia arriba y lo que sucede en un sistema inercial

sometido a la acción de un campo gravitatorio uniforme. Este hecho (sustentado en la identidad entre la masa inercial y gravitacional) puede servir de punto de arranque para introducir la Teoría de Relatividad General.

El bloque (y la unidad) se cierran con un comentario sobre la trascendencia que la dinámica newtoniana tuvo en el desenvolvimiento de la Física en los siglos XVIII y XIX, anteponiéndola a la Teoría de la Relatividad de A. Einstein (enunciada en los primeros años del s. XX) como ejemplo de la manera en que las teorías se desarrollan en ciencia.

La frase final de A. Einstein es una exposición perfecta de este hecho:

"Newton, perdóname. Tú encontraste el único camino posible, en tu tiempo, para un hombre dotado de increíble capacidad intelectual y creativa. Los conceptos que tú creaste siguen dominando nuestra forma de pensar, aunque ahora sabemos que debemos sustituirlos por otros más alejados de la esfera de la experiencia inmediata. Es la única forma de llegar a una comprensión más profunda de la forma en que se interrelacionan las cosas."



Autoevaluación

Con el fin de facilitar la autoevaluación se proponen unos cuestionarios de respuesta múltiple (sólo una de las respuestas es correcta) con los que los alumnos/as pueden verificar el alcance y calidad de sus conocimientos.



No se trata de una verdadera evaluación de la unidad, sino una forma de poner a prueba lo estudiado para ver lo que se ha entendido y hasta donde.

Se ha diseñado un único cuestionario para los bloques de **Fuerzas y Acciones - Leyes de Newton** cuyo nivel puede ser apropiado para 4º de ESO y bachillerato. No requiere cálculos complicados y en él se tratan las cuestiones básicas desarrolladas en ambos bloques.

El bloque dedicado a las **fuerzas de rozamiento** cuenta con un cuestionario de autoevaluación. Aunque queda a la consideración del profesor/a su utilización en uno u otro nivel, se considera que es apropiado para cursos de bachillerato. Se hace un repaso a los conceptos teóricos fun-

damentales que se desarrollan en el bloque correspondiente y se plantean algunos ejercicios numéricos para calcular el valor de las fuerzas de rozamiento o de los respectivos coeficientes.

El cuestionario dedicado a los **sistemas no inerciales** es de una complejidad mayor. Para resolver las cuestiones planteadas es necesario realizar planteamientos más elaborados, razón por la que se considera debe reservarse para cursos de bachillerato.

Se ha observado que la tendencia de los alumnos/as a la hora de manejar estos cuestionarios es resolverlos rápidamente tratando de intuir cuál es la respuesta acertada, dándose por satisfechos con el resultado de una evaluación positiva aunque, realmente, se haya entendido poco.

Debe de transmitirse la necesidad de una previa reflexión sobre lo que se plantea y una posterior evaluación (acompañada de un verdadero planteamiento del problema y su posterior resolución numérica) de las respuestas propuestas. Solamente cuando se sea capaz de explicar de forma convincente (apoyando el razonamiento en datos o cálculos) el por qué de la respuesta, la realización de los cuestionarios puede ser útil, ya que su objetivo es detectar las posibles lagunas o errores conceptuales que puedan aparecer.