

## Estrategia áulica para el estudio de la dinámica newtoniana de la partícula

*Isabel Ferraris*

Departamento de Física - Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional del Comahue - Neuquén - Argentina  
icferrar@uncoma.edu.ar

*La naturaleza vectorial de algunas magnitudes presentes en los procesos físicos que son estudiados desde la perspectiva de la dinámica newtoniana, implica la utilización de modelos formales capaces de representar en forma adecuada y lo más completa posible, la porción de la realidad que se está estudiando.*

*El presente trabajo propone una estrategia de análisis de problemas típicos de la dinámica newtoniana basada en el estudio, exploración y modelización de distintas situaciones dentro de la misma problemática. La misma requiere la profunda comprensión del proceso fundamental de interacción. La herramienta formal utilizada es la operatoria elemental de vectores. A través de la representación gráfica de interacciones y aceleraciones, es posible destacar en el aula las profundas implicancias de la equivalencia vectorial entre estas magnitudes utilizando el modelo de base experimental formulado por Newton.*

*La estrategia alienta en cada caso la minuciosa exploración, reconocimiento y validación del alcance o campo de validez de los modelos físico-matemáticos propuestos. Es así que en la representación del problema y como instancia previa al análisis propuesto, se estimula la reflexión por parte del alumno, sobre si los modelos propuestos, que siempre implican simplificaciones de la realidad, constituyen genuinos instrumentos formales.*

**Palabras clave:** Dinámica newtoniana, interacción, aceleración, hipótesis simplificativa, modelo formal.

*The nature of some of the quantities involved in physical problems which are studied under the Newtonian Dynamics perspective, imply the use of adequate models, capable to describe the portion of reality under study.*

*A strategy of analysis of typical problems of Newtonian Dynamics of the particle is proposed in this paper. It is based on the analysis, exploration and modelization of different situations within the same problem and requires a deep comprehension of the fundamental interaction process.*

*The elemental vector algebra is used as formal tool. The graphical representation of interactions and accelerations allows stressing on the meaning of the equivalence between them, using Newton's experimental model. Exploration, recognition and validation of the scope of the physical-mathematical models are encouraged. Thus, when a problem is modelized and before any further analysis, it is necessary to verify if the proposed models, which always imply simplifications of the reality, are genuine formal instruments.*

**Keywords:** Newtonian Dynamics, interaction, acceleration, simplified hypothesis, formal model.

### Introducción. Motivación

Los cursos de Física clásica en los primeros años del nivel universitario de las carreras de ingeniería, están integrados por alumnos que han cursado análisis matemático y álgebra. En general los estudiantes han adquirido las herramientas formales necesarias para analizar y representar a través de modelos físico-matemáticos adecuados los fenómenos físicos en estudio (Bunge, 1985). Sin embargo es interesante observar que en muchos casos los alumnos conciben dichos modelos como puramente matemáticos y

no como la representación formal de un fenómeno natural. Es así que gradualmente, en ocasiones, se va perdiendo de vista que la existencia y uso de los modelos dependen fundamentalmente de su correspondencia con la realidad. Asimismo se observa en los alumnos, una suerte de desconexión entre los resultados hallados mediante la utilización de un método algebraico determinado y la realidad que esos resultados representan, especialmente cuando el problema en cuestión involucra magnitudes vectoriales.

Se presenta en este trabajo un acercamiento a la dinámica newtoniana con un enfoque

basado en la modelización gráfica y analítica de interacciones y aceleraciones. Esta manera de trabajar en forma integrada posibilita el abordaje de problemas bajo perspectivas distintas y complementarias, pudiendo enriquecer así el análisis del fenómeno en estudio, donde la visualización de los vectores ayuda en el estudio de la realidad física y contribuye a una mejor conceptualización a través de la imagen. Esta forma de comprensión junto con la más tradicional, basada en el planteo de ecuaciones y su resolución, permite profundizar el análisis, pasando de lo gráfico a lo analítico en un ida y vuelta, que posibilita eventualmente la corroboración o concordancia (o no!) entre las expresiones puramente algebraicas y los esquemas construidos.

El propósito de la estrategia propuesta es que el alumno que ya maneja el razonamiento formal abstracto, junto con sus ideas previas (Ausubel et al., 1978) comprenda significativamente el fenómeno físico en estudio. En base al mismo, el estudiante puede dar sus primeros pasos en la tarea de la representación formal de un fenómeno real. Este proceso puede contribuir a la toma de conciencia del carácter de aproximados de los modelos planteados y permitir la determinación de su alcance o validez.

La propuesta de este trabajo va más allá del análisis de la dinámica newtoniana que en él se presenta. Representa, en un sentido amplio, una *manera de pensar y abordar* los problemas de la realidad, los cuales son de universo abierto (Popper, 1994). Para estudiar esa realidad, las personas construimos modelos que consideramos la representan en forma adecuada, lo mejor posible. Sin embargo entre realidad y modelo siempre hay diferencias. Estas se deben principalmente a dos causas. La primera comprende todos los factores que se dejan fuera del modelo por considerar que su influencia puede ser despreciada (hipótesis simplificadoras) y la segunda la constituyen todos aquellos factores que ignoramos debido al imperfecto conocimiento humano (García y Pérez, 2003).

En este trabajo analizaremos las primeras, aunque sin olvidar, que las segundas están siempre presentes en mayor o menor grado.

## Estrategia propuesta

### *Premisas de partida*

Para comenzar el estudio y aplicación de las leyes de Newton, se analizan primeramente los elementos que se consideran básicos y necesarios para la utilización de la estrategia propuesta. Se los ha clasificado en *físicos* y *formales*. Algunos de ellos son comúnmente tenidos en cuenta en el análisis de las problemáticas (conceptos previos: *aceleración, fuerza*, etc.) mientras que otros (*ubicación y delimitación del sistema físico que se va a estudiar, campo de validez de la segunda Ley de Newton, hipótesis simplificadoras*, etc.) en algunas ocasiones, no son objeto de reflexión por parte del alumno y se propone aquí específicamente que el estudiante aprenda a tenerlos en cuenta en su análisis. Luego se presenta la construcción del diagrama de cuerpo libre, como paso previo a la aplicación de la segunda Ley de Newton.

#### a) Físicos

- *Partícula*. La estrategia que se presenta estudia la dinámica de la *partícula*. El modelo de partícula constituye de por sí una simplificación de la realidad ya que los cuerpos estrictamente puntuales no existen. Si el error con que medimos la posición de un punto de un cuerpo en el espacio es del orden de las dimensiones del cuerpo, no tendrá sentido distinguir un punto de un cuerpo de otro. Un cuerpo cuyas dimensiones son del orden del error en la medición de las distancias se denomina cuerpo puntual (Roederer, 1986).

- *Ubicación y delimitación del sistema físico que se va a estudiar*. Es importante que el alumno tenga en cuenta que la Dinámica no es un enfoque aislado, un compartimento estanco. De acuerdo a lo expresado en el apartado anterior en forma general, la Física y en particular la Dinámica newtoniana estudian problemas específicos de la realidad y que son representados para su estudio a través de modelos. Esto hace necesario ante el análisis de una problemática concreta, y como paso primero, su exploración en profundidad a fin de poder entender su naturaleza y funcionamiento, para luego poder proponer un modelo físico-ma-

temático que la describa lo mejor posible.

- *Proceso fundamental de interacción. Fuerzas. Vinculaciones.* El proceso fundamental de interacción es considerado como la base de la mecánica (Feynman et al., 1966; Roederer, 1986), por lo tanto es el elemento primordial que debe ser conceptualizado de la forma más profunda posible. El estudio de las cuatro interacciones básicas de la naturaleza - gravitatoria, electromagnética, nucleares débil y fuerte- así como las características de los distintos vínculos que puede tener la partícula en estudio (sogas, barras, apoyo, superficies rugosas, etc.), deben ser reconocidos. Al respecto, se propone que el docente presente explícitamente los distintos “mecanismos” de interacción mostrando al mismo tiempo la forma en que estos pueden ser idealizados (Beer y Johnston, 1997; Roederer, 1986). Esta idealización implica el reconocimiento en forma explícita de las hipótesis simplificadoras realizadas en este proceso.

- *Concepto de aceleración.* Si bien el estudio de la Dinámica es precedido por el de Cinemática, donde se introduce el concepto de aceleración, en algunos casos, concepciones previas erróneas persisten (Carretero, 1997) y, por ejemplo, en el caso “la aceleración es hacia el norte”, aún suelen escucharse expresio-

nes tales como “se está moviendo hacia el norte”. Es decir, persiste la confusión entre *aceleración-sentido del movimiento*.

Se presenta más adelante un ejemplo en el cual el *mismo* diagrama de cuerpo libre puede representar situaciones en las cuales los movimientos son diferentes.

Debido a concepciones previas es común que se asocie la aceleración exclusivamente con un cambio del módulo de la velocidad, no relacionando el concepto al cambio de dirección de la misma. Se propone consolidar el concepto de aceleración a través de la presentación de ejemplos y cuestionamientos concretos.

- *Segunda Ley de Newton. Su interpretación.* La expresión formal de esta ley experimental es

$$\sum F_{\text{ext}} = m \cdot a$$

Es necesario explicar aquí la diferencia que existe entre una interacción determinada (hecho físico medido experimentalmente) y  $\sum F_{\text{ext}}$  (ente matemático resultado de una suma de vectores). Ayuda a reafirmar conceptos el mostrar a través de ejemplos, que en general la sumatoria de las fuerzas no coincide con alguna interacción en particular sobre el sistema en estudio. En la Figura 1 se muestran algunos ejemplos.

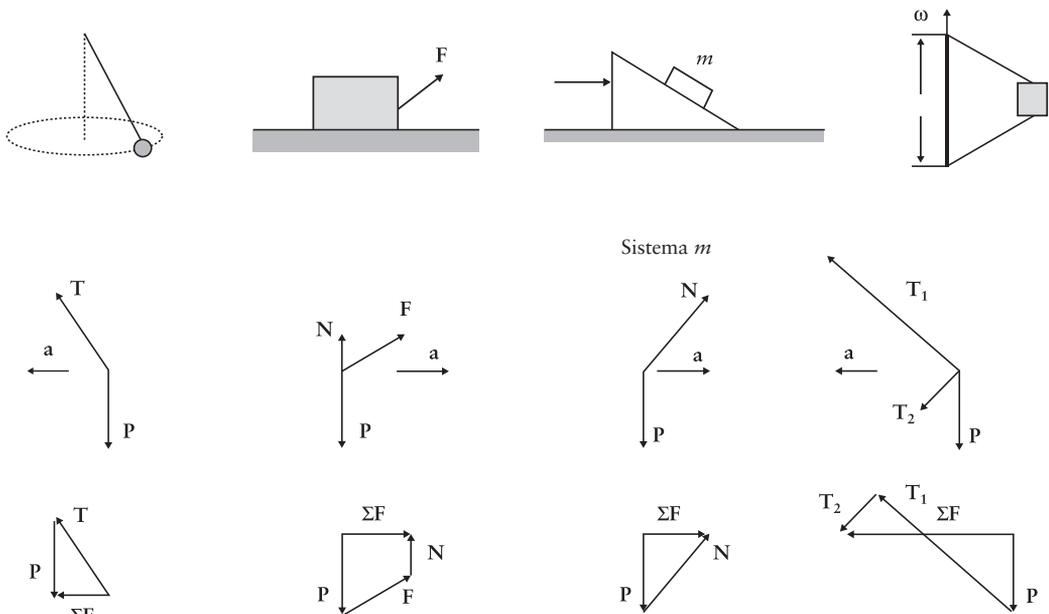


Figura 1

Asimismo la vinculación entre masa, aceleración y suma de fuerzas y la profunda interpretación de la segunda Ley de Newton requiere la comprensión del concepto de *equivalencia* de vectores, tal como se presenta más

adelante.

Ejemplos como el que se muestra en la Figura 2, pueden resultar valiosos para acercar al alumno a la interpretación conceptual de la segunda Ley de Newton.

La fuerza neta que actúa sobre una partícula de masa  $m$  en la posición que se muestra en la figura es  $F$ . En base a la misma:

- dibujar la aceleración de la partícula;
- indicar cuál de las trayectorias es compatible con dicha fuerza neta. Justificar la respuesta.
- ¿Qué ocurre si se agrega al sistema  $m$  una interacción  $-F$ ?

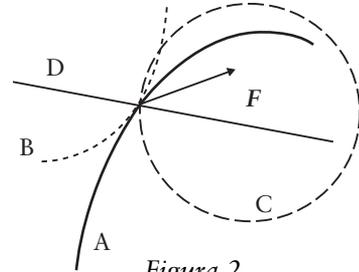


Figura 2

- *Campo de validez de la segunda Ley de Newton. Sistemas inerciales.* La segunda ley de Newton es válida cuando la aceleración es medida desde un sistema inercial. Es conveniente frente a cada situación problemática verificar si esto está sucediendo. Gradualmente y mediante esta práctica, los alumnos pueden ir formando el hábito de reconocer el alcance de las relaciones que utilizan.

- *Hipótesis simplificativas.* Una vez comprendida la realidad física en estudio sigue la elección del modelo que la describirá. Este implica necesariamente la decisión de dejar fuera del análisis del problema factores que se consideran poco importantes. Esta elección no es arbitraria sino que debe estar basada ya sea en la experimentación o en criterios sustentados desde la teoría. En cada caso, la formulación de un “recorte” de la realidad será el resultado de la exploración y reconocimiento concreto del mecanismo de funcionamiento del sistema.

Como ejemplo se puede mencionar: cables sin masa, superficies sin fricción, sogas inextensibles, poleas de radio despreciable, etc

b) Formales

- *Operatoria de vectores.* Es evidente la necesidad de que la operatoria de vectores sea dominada por los alumnos, en particular el cálculo analítico y gráfico de la resultante de un sistema de vectores concurrentes y la multiplicación de un número real por un vector. Estos contenidos se desarrollan en las asigna-

turas análisis matemático y álgebra ya cursadas por los alumnos. No se considera necesario extenderse aquí en este aspecto.

- *Equivalencia de vectores.* Asimismo es necesario, además del correcto uso de la operatoria vectorial, que el concepto de *equivalencia* entre vectores sea comprendido en forma significativa. En el caso que nos ocupa, esto último nos permite afirmar que

“Si medimos experimentalmente las interacciones sobre un cuerpo, hallamos la fuerza neta que actúa sobre él y la representamos con un vector y por otro lado medimos la aceleración de dicho cuerpo desde un sistema inercial, la multiplicamos por su masa y representamos dicho producto con otro vector, ambos vectores son equivalentes”.

La Figura 3 ilustra con un ejemplo sencillo la equivalencia vectorial expresada por la segunda ley de Newton.

- *Vectores constantes. Módulo, dirección y sentido.* Un vector se mantiene constante cuando su módulo, dirección y sentido se mantienen constantes. Es común observar que se restringe el uso del término *constante* exclusivamente al módulo de una magnitud vectorial. Si se tuviera en cuenta lo que significa que un vector se mantenga constante, en la proposición “si la velocidad es constante, entonces la partícula se mueve con movimiento *rectilíneo* uniforme”, sería redundante la aclaración de que el movimiento es sobre una recta.

Explícitamente y a través de proposiciones

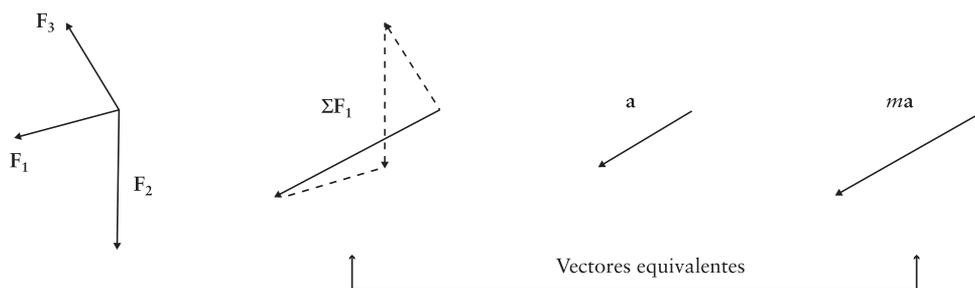


Figura 3

como la anterior, por ejemplo, se puede introducir la simple pero no trivial concepción de magnitud vectorial constante.

#### *Representación de las interacciones y aceleración. Diagrama de cuerpo libre*

Como paso previo y fundamental al análisis dinámico de un fenómeno es conveniente realizar una representación gráfica de las interacciones y aceleración del sistema bajo estudio. Es de destacar que el “sistema” puede ser una o más partículas. En este último caso con la condición de que un análisis previo de cada cuerpo, permita concluir que todas las partes del sistema tienen la misma aceleración para iguales condiciones iniciales y que, por consiguiente, el conjunto puede ser considerado “la” partícula en estudio, tal lo expresado en *Premisas de partida*, apartado a). Vemos aquí nuevamente la relevancia de detenerse a explorar el problema físico real, a fin de poder entenderlo, comprender su funcionamiento y dar significado así a los modelos formales.

Una vez determinado el sistema, la construcción del diagrama de cuerpo libre (Alonso y Finn, 1973; Beer y Johnston, 1997; Roederer, 1986; Ingard y Kraushaar, 1973), es un proceso conceptual donde el alumno ha reconocido la realidad de su problemática e identificado las distintas interacciones del universo exterior sobre el sistema elegido. Luego, y basado en ese reconocimiento, representará con entidades llamadas *fuerzas* a cada una de las interacciones.

Conviene asimismo agregar al diagrama de cuerpo libre la aceleración aunque esta mu-

chas veces sea una de las incógnitas y haya que suponerla.

Una vez completada la etapa anterior y si la complejidad del problema lo permite, se propone hallar en forma gráfica la fuerza neta. La representación a través de estos esquemas pone énfasis en la equivalencia vectorial entre  $a$  y  $\Sigma F_{\text{ext}}$ . Las Figuras 1 y 3 muestran ejemplos de estas representaciones, que están de acuerdo a lo expresado en *Premisas de partida*, apartado b).

#### *Obtención de resultados. Observaciones y conclusiones*

Una vez realizado el proceso anterior y en base a la representación gráfica propuesta, se elige un sistema de ejes que se considere más adecuado en cada caso y se plantean ecuaciones de proyección para obtener los valores de las incógnitas. Luego, sigue el análisis crítico del resultado y la elaboración de observaciones y conclusiones, que pueden llevar incluso (y es deseable que así sea!) a la formulación de nuevas preguntas.

#### **Ejemplo**

Se presenta a modo de ejemplo el típico análisis del peralte de curvas. Algunos aspectos que se tuvieron en cuenta para su elección son:

- Se trata de un fenómeno que todos los alumnos han experimentado en su vida cotidiana y que en general despierta la curiosidad de los mismos.

- El fenómeno en estudio ilustra la modelización como partícula, posibilitando la formulación de hipótesis simplificativas de distinto tipo.
- El cambio en la velocidad es de dirección y no de módulo y por lo tanto velocidad y aceleración no son colineales.
- En otro aspecto, la sencillez de los diagramas de cuerpo libre, permite obtener fácilmente la fuerza neta y asociarla a la aceleración.
- Su vinculación con diferentes movimientos, en configuraciones distintas y que sin embargo presentan analogías en la orientación de las interacciones.
- La riqueza conceptual en el análisis de resultados y posibilidad de formulación de nuevas preguntas.

En base a lo anterior el problema propuesto es:

Una carretera está peraltada de modo que un vehículo desplazándose a 40 km/h puede tomar una curva de 30 m de radio, sin deslizar sobre el pavimento incluso si existe una capa de hielo equivalente a un coeficiente de fricción aproximadamente cero. Determinar el intervalo de velocidades dentro del cual un vehículo puede tomar esta curva sin patinar, si el coeficiente de fricción estático entre la carretera y las ruedas es de 0,3.

La estrategia presentada consiste en:

-*Comprensión del fenómeno físico bajo estudio.* Se trata de un cuerpo extenso vinculado como muestra la Figura 4, en la que se muestran las interacciones.

-*“Recorte” de la realidad. Hipótesis simplificativas.* Consideramos al vehículo como una partícula, que el módulo de la velocidad es constante y que la curva es circular perfecta ( $R$  es cte). Despreciamos la interacción por fricción con el aire. No consideramos el fenómeno de rodadura. Aceptamos que el módulo de la interacción por fricción estática es  $F_r \leq \mu_s N$ .

-*Análisis de interacciones y aceleración. Diagrama de cuerpo libre.* Se explora el universo exterior al sistema elegido a fin de identificar las fuerzas que actúan. El análisis e identificación de las interacciones es una etapa

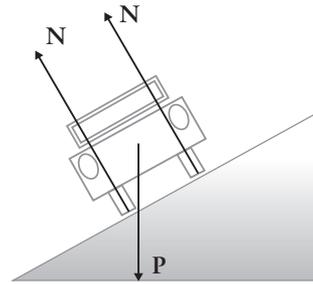


Figura 4

fundamental en el análisis de todo problema de dinámica. Aquí se ponen de manifiesto concepciones previas equivocadas como, por ejemplo, que se asocie el sentido del movimiento con la existencia de una interacción. Con el propósito de ir dejando de lado estas concepciones, se sugiere identificar concretamente el “agente exterior” al sistema elegido y luego recién asignar un nombre a la fuerza que representa dicha interacción. La Tabla 1 sugiere una posible manera de organizar lo anterior. Paralelamente se construye el diagrama de cuerpo libre.

Tabla 1

Interacción	Fuerza
gravitatoria	P
apoyo	N
fricción	$F_r$

En realidad tanto  $N$  como  $F_r$  representan las componentes de la interacción de apoyo. En este trabajo y por razones didácticas se las considera como dos interacciones.

Se completa el diagrama de cuerpo libre, representando gráficamente la aceleración.

Es muy valioso detenerse aquí y mostrar desde lo gráfico la equivalencia entre  $\sum F_i$  y  $ma$ . En la Figura 5 se puede ver la equivalencia de los dos vectores.

Continuando con el ejemplo que se presenta, tomamos como “testigo” el caso en el cual no es necesaria la interacción por fricción para garantizar el no deslizamiento y para el cual la curva (su inclinación  $\theta$ ) fue diseñada. La Figura 5 ilustra esta situación.

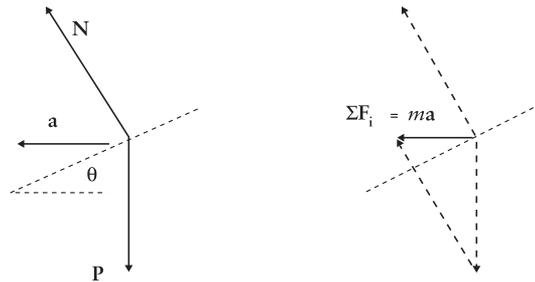


Figura 5

-Análisis de distintas situaciones. El cálculo del ángulo de diseño  $\theta$  se realiza planteando ecuaciones sencillas de proyección y suponiendo que hemos hallado su valor.

Ahora bien, para hallar el intervalo de velocidades que pide el problema, se puede ex-

plorar qué ocurre si se transita la curva a mayor o menor velocidad que la correspondiente a la de diseño  $v_d$  (40 km/h), tomando, como se dijo, como referencia este último caso. La Figura 6 muestra estas dos situaciones.

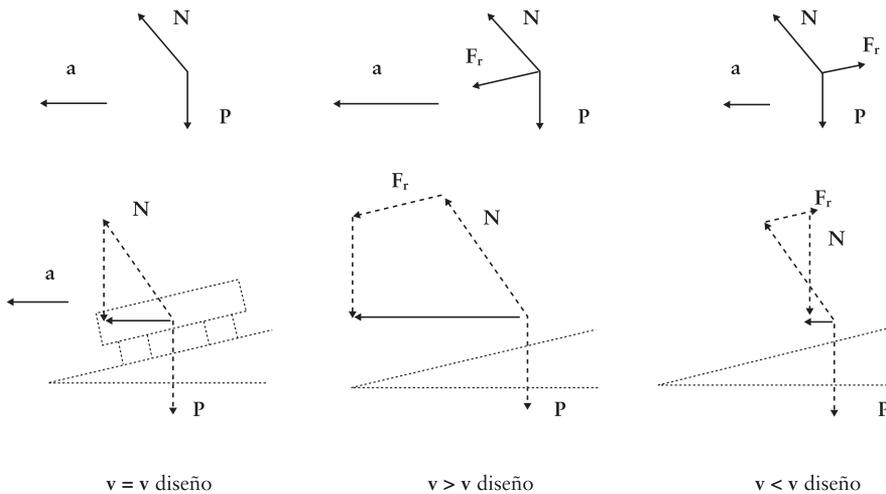


Figura 6

Observaciones:

- La interacción gravitatoria  $P$  se mantiene constante en todos los casos.
- Una vez diseñado el peralte de la curva, la dirección de la interacción de apoyo  $N$ , queda determinada, sólo pudiendo variar su módulo.
- Si varía  $v$ , para no deslizamiento ( $a$  horizontal) debe variar  $N$  y además debe exis-

tir otra interacción tal que  $\Sigma F_i$  sea horizontal.

- El vínculo que puede interaccionar con la partícula es el piso rugoso, por lo tanto debe existir fricción  $F_r$  para la condición del problema.
- Se observa que al aumentar el módulo de  $v$ ,  $F_r$  tiene sentido hacia la parte más baja de la curva y si disminuye el módulo de  $v$ ,

hacia la parte alta.

- $F_r$  puede aumentar hasta un valor máximo igual a  $\mu_s N$ , más allá del cual habrá deslizamiento relativo de superficies.

-*Solución.* El intervalo de velocidades dentro del cual un vehículo puede tomar esta curva sin patinar, se puede obtener planteando los dos casos límite de deslizamiento inminente en los que es válida la equivalencia  $F_r = \mu_s N$ , que fueron ya analizados.

-*Planteo de un nuevo problema en base al análisis realizado.* La riqueza o complejidad del problema puede dar origen a nuevos problemas, por ejemplo:

Analizar qué sucede si se aumenta o disminuye  $v$  más allá de los valores críticos hallados.

-*Consolidación de conceptos.* Para afirmar conceptos en relación al caso analizado, se podrían presentar sistemas que guardan analogías en lo que respecta a la orientación de las

interacciones y cuyas configuraciones y movimientos son diferentes. En los siguientes problemas a) y b), que parecen ser en principio diferentes de la problemática de peralte de curvas, los diagramas de cuerpo libre son análogos al del caso presentado.

**Problema a):** hallar el intervalo de fuerzas  $F$  aplicadas a  $M$  en forma horizontal, como muestra la Figura 7, tal que la masa  $m$ , inicialmente en reposo, no deslice respecto de la superficie inclinada. La rugosidad entre ambas superficies está representada por el coeficiente de fricción  $\mu$ .

**Problema b):** hallar el intervalo de velocidades angulares  $\omega$  constantes a que debe girar el embudo de la Figura 7, para que la masa  $m$  no deslice respecto del mismo. La rugosidad entre ambas superficies está representada por el coeficiente de fricción  $\mu$ .

a) Intervalo de  $F$

b) Intervalo de velocidades angulares  $\omega$  constante

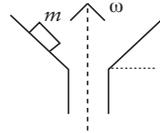
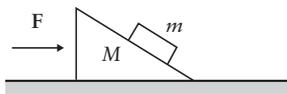
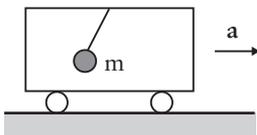


Figura 7

Otro problema, donde existe analogía en la orientación de las interacciones con el caso ilustrado es el siguiente:

**Problema c):** Determinar para el péndulo de la figura la tensión de la cuerda y su ángulo respecto de la vertical dada la aceleración  $a$ , mostrada en el esquema.



que  $F_r = 0$ ), donde la interacción indicada como  $F$  representa en

- a) apoyo
- b) apoyo
- c) tensión

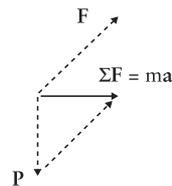


Figura 8

**Proyección de la estrategia propuesta**

Estos ejemplos u otros permiten, una vez analizados utilizando la estrategia propuesta, realizar una síntesis integradora ya que, si realizamos el diagrama de cuerpo libre de la partícula  $m$ , el mismo resulta ser en cada caso el que se muestra en la Figura 8 (para el caso en

La síntesis conceptual que puede lograrse mediante la estrategia propuesta para el abordaje de la dinámica newtoniana de la partícula, puede facilitar al alumno la aplicación y proyección de conceptos a los sistemas de partículas. Los cuerpos extensos, que constituyen sistemas especiales de partículas (rígidos o de-

formables), podrían ser analizados en base a los modelos ya estudiados junto a nuevos conceptos. El alumno se ha iniciado en la construcción de modelos formales siguiendo un proceso en el que ha reflexionado acerca de las limitaciones y alcance de los mismos y su funcionamiento.

Es decir el alumno puede ir aprendiendo a trabajar utilizando un marco de razonamiento general, que le puede permitir abordar distintas problemáticas de manera independiente, que quizá vayan más allá de la Física y hasta los problemas complejos que encontrará en su futura realidad profesional, desde una postura que se visualiza como más sólida, crítica y al mismo tiempo versátil.

### Comentarios finales

La estrategia propuesta puede contribuir al aprendizaje significativo de la Mecánica en los

siguientes aspectos:

- Destaca la importancia y estimula la práctica de la observación y exploración de los fenómenos físicos.
- Promueve la reflexión y formulación de preguntas que pueden surgir de la observación.
- Pone énfasis en la tarea de construcción de modelos físico-matemáticos adecuados.
- Destaca el carácter de aproximados de estos modelos, lo que conduce a reflexionar y reconocer su campo de validez.
- Enfatiza y estimula el análisis de los resultados y, en base a dicho análisis, alienta la formulación de conclusiones.

En otro aspecto, puede contribuir a la adquisición por parte de los alumnos, de una forma sistemática de trabajar desde el inicio de la formación universitaria, la cual puede ser proyectada a su futuro trabajo profesional.

### Referencias

- Alonso, M. y Finn, E. (1973). *Física*. Tomo 1. México: Fondo Educativo Internacional.
- Ausubel, D.; Novak, J. y Hanesian, H. (1978). *Educational Psychology: A Cognition View*. New York: Holt, Rinehart and Winston. Trad. Cast. Sandoval Pineda, M. (1983). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Ed. Trillas.
- Beer, F. y Johnston, (1997). *Mecánica vectorial para ingenieros-Dinámica*. México: Ed. Mc. Graw-Hill.
- Bunge, M. (1985). *Teoría y realidad*. Barcelona: Ed. Ariel.
- Carretero, M. (1997). *Construir y enseñar las Ciencias Experimentales*. Buenos Aires: Ed. Aique.
- Feynman, R.; Leyhton, R. y Sands, M. (1966). *The Feynman Lectures on Physics*. USA: Ed. Addison-Wesley.
- García, P. y Pérez, R. (2003). Algunos aspectos lógicos y epistemológicos de la Teoría de Conjuntos Fuzzy; sobre una Tesis de Alain Badiu. *Cuadernos de CIMBAGE*, 6, pp. 1-15.
- Ingard, U. y Kraushaard, W. (1973). *Introducción al estudio de la Mecánica, materia y onda*. Barcelona: Ed. Reverté.
- Popper, K. (1994). *El universo abierto*. Madrid: Ed. Tecnos.
- Roederer, J. (1986). *Mecánica elemental*. Buenos Aires: Ed. Eudeba.