

LIMITACIONES DEL MODELO FÍSICO IDEALIZADO. LA SIMULACIÓN COMPUTACIONAL COMO PROPUESTA DIDÁCTICA

Hugo Kofman – Cristina Cámara

*Facultad de Ingeniería Química - Universidad Nacional del Litoral
Santiago del Estero 2829 – Santa Fe – Argentina
TEL 0342-4527670, hkofman@fiqus.unl.edu.ar, ccamara@fiqus.unl.edu.ar*

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de una investigación realizada por docentes de Física acerca del uso generalizado de modelos físicos ideales por parte de los alumnos, al estudiar el fenómeno de caída de los cuerpos en el campo gravitatorio en condiciones reales en las cuales no puede despreciarse el rozamiento con el aire.

También se proponen actividades en las cuáles se aborda el fenómeno real a través de una simulación computacional y se trabaja con una modalidad exploratoria en el marco de una metodología basada en el constructivismo.

1-CONCEPTOS E HIPOTESIS INICIALES

Cuando un alumno resuelve un problema de Física, aunque no sea consciente de ello, construye o adopta primero un modelo físico idealizado, al que aplica luego las leyes físicas correspondientes. Eso significa que asume un determinado modelo del sistema físico, con una serie de simplificaciones, del cual obtiene luego un modelo matemático, a través de la aplicación de una o más leyes físicas. Algunas veces accede al modelo matemático expresado mediante ecuaciones generales, y otras, quizás en la mayor parte de los casos, se da por terminado el problema al arribarse a ciertos resultados numéricos.

Las simplificaciones que se hacen para plantear el modelo idealizado, no suelen basarse en cálculos previos ni en criterios cuantitativos aproximados, sino que se realizan generalmente por proyección inconsciente del modelo mental que se tiene del fenómeno. Se sabe que las limitaciones de los modelos mentales, o sus contradicciones con los propios fenómenos físicos, son fuentes importantes de errores, los cuales se propagan a través del modelo idealizado hacia el modelo matemático final.

El planteo de esos modelos ideales puede justificarse desde un punto de vista didáctico y práctico: se hace necesario simplificar el sistema para centrar el estudio en cierto fenómeno que interesa y evitar complicaciones matemáticas derivadas de modelos más complejos. Tal punto de vista es totalmente razonable y difícilmente pueda plantearse en una fase inicial la operación con modelos más complejos.

Por ejemplo, frente al problema de hallar la capacidad de un condensador plano, con los datos geométricos del dispositivo, el alumno difícilmente preste atención a los valores numéricos, y aplica en forma directa la fórmula hallada para condensadores con placas de gran área y pequeña distancia entre ellas, que supone despreciar la dispersión de líneas de campo en los bordes y lados opuestos, lo cual podría traducirse en errores significativos. De la misma manera se opera con innumerables problemas de mecánica, despreciando masas de poleas, rozamientos en cojinetes y superficies, resistencia del aire, deformaciones, etc.

La práctica de soslayar toda discusión sobre el modelo utilizado y sus limitaciones puede ser discutida. La modalidad de ir directamente al modelo idealizado, sin siquiera explicitarlo, podría generar en los alumnos una falsa idea sobre el fenómeno en cuestión y una inconsciencia sobre el grado de validez del mismo. Inclusive, se podría confundir el modelo con el propio sistema físico, considerando que las leyes se estarían aplicando a éste último. En esa línea, se podría pretender, por ejemplo, calcular la velocidad de llegada a la superficie terrestre, de una pequeña bolita de granizo, mediante la fórmula de la caída libre con la aceleración de la gravedad, lo que resultaría un absurdo. O tampoco se podría dar una explicación coherente al hecho que las gotitas de agua que componen la niebla, prácticamente “floten” en el aire sin precipitarse a tierra, como lo hacen las gotas de lluvia.

Con el propósito de profundizar sobre esta problemática y proponer una actividad destinada a superarla, se plantearon las siguientes hipótesis:

- 1) En la enseñanza de la física a nivel universitario básico y polimodal se estarían limitando los ejemplos numéricos sólo a aquellos casos en que los modelos ideales funcionan correctamente. Los otros casos, por sus dificultades matemáticas ni siquiera se plantean, de modo que, cuando al alumno se le presentan, no es capaz de distinguirlos y los intenta resolver con el único modelo ideal que conoce. Todo esto de una manera inconsciente.
- 2) La utilización de la simulación computacional, aprovechando la enorme capacidad de cálculo y las posibilidades gráficas de esta herramienta tecnológica podría ser de gran utilidad para ampliar el radio de acción del estudio de los fenómenos físicos. Calcular donde resulte difícil y tedioso hacerlo mediante los métodos tradicionales y simular los fenómenos donde resulte inaccesible la experimentación. Al mismo tiempo, aprovechar la posibilidad de interacción de las aplicaciones con interfaces gráficas intuitivas para que el alumno realice aprendizajes significativos a través de la vía considerada como más idónea: la construcción de sus propios conocimientos de una manera colaborativa.

2- INVESTIGACIÓN ALREDEDOR DE UN CASO DE USO DE MODELO IDEAL

A fin de intentar dar una respuesta a las hipótesis antes formuladas, se realizaron encuestas a alumnos que habían cursado y en algunos casos aprobado la asignatura Física I de una carrera de Ingeniería. Luego se trabajó con una simulación computacional con otros grupos, sobre el mismo problema, realizándose observación de la clase y analizándose el informe escrito de los alumnos.

Se eligió el tema Caída Libre de los Cuerpos, con el objetivo de abordar un fenómeno que tiene innumerables conexiones con la vida cotidiana.

Al respecto, hay que tener en cuenta que la fuerza resistente del aire es aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad, al área proyectada en la caída de la partícula y al factor de forma, que es pequeño en cuerpos regulares como las esferas y grande en los irregulares. De manera que la fuerza ejercida por el aire será más importante para grandes alturas de caída (mayor velocidad alcanzada), para cuerpos de pequeño diámetro (porque al disminuir el radio de una esfera, su peso disminuye con el cubo del mismo, mientras que el área proyectada lo hace con el cuadrado), y cuanto menor densidad tenga el material (menor valor relativo del peso). En forma similar a la caída en fluidos viscosos, una partícula esférica, al caer en el aire, disminuye su aceleración, tendiendo su velocidad a un valor constante, llamado velocidad límite. La misma resulta proporcional a la raíz cuadrada del radio de la partícula y de la densidad del cuerpo.

Estos conceptos se evaluaron a través de la siguiente encuesta en una primera etapa de la investigación:

ACTIVIDAD :

Evaluación de conocimientos, preconcepciones y aplicaciones a fenómenos de la vida cotidiana, referidos al tema “Análisis de los modelos utilizados en la caída de los cuerpos y movimiento de proyectiles”.

SE SOLICITA LA COLABORACION DEL ALUMNO, PARA RESPONDER EN FORMA ANONIMA LAS SIGUIENTES PREGUNTAS, EN UN TIEMPO NO SUPERIOR A LA MEDIA HORA.

1) ¿ Para realizar cálculos en la caída de una bolita de granizo (hielo, que puede tener un diámetro de 1 cm), desde una nube (que puede estar a 1 Km de altura), es posible utilizar las mismas expresiones matemáticas que para la caída de un ladrillo desde unos 20 m de altura ?.

Si No Desconozco

Explicación:

2) ¿ Cual sería una explicación física por la cual las partículas de polvo atmosférico o de niebla (agua) parecen “flotar” en el ambiente y no caen con la aceleración de la gravedad ?.

Explicación:

3) Galileo dejaba caer esferas de volumen considerable, de diferentes metales pesados, desde una altura aproximada a los 50 metros (torre de Pisa), demostrando que todas llegaban al suelo prácticamente en el mismo tiempo y con la misma velocidad. ¿ Que ocurre con la aceleración de la esfera a medida que esta va cayendo ?:

Aumenta : Disminuye: Permanece constante :

Explicación:

4) Como sería su respuesta a la pregunta anterior (3), en los siguientes casos:

4-a) La esfera es de madera liviana:

Aumenta : Disminuye : Permanece constante :

Explicación:

4-b) La esfera es de metal pesado, pero muy pequeña :

Aumenta : Disminuye : Permanece constante :

Explicación:

4-c) Son las mismas esferas que utilizaba Galileo, pero dejadas caer desde 1000 m de altura:

Aumenta : Disminuye : Permanece constante :

Explicación:

4-d) En vez de esferas, son cuerpos de formas irregulares :

Aumenta : Disminuye : Permanece constante :
 Explicación:

2-1 EVALUACIÓN DE LA ENCUESTA

Las encuestas se realizaron a un grupo de 21 alumnos que cursaban la asignatura Física II, de los cuáles 12 aun no habían aprobado la asignatura Física Ic, en la cual se dictan los contenidos correspondientes a Mecánica.

Para cada pregunta se presenta una tabla donde aparecen los porcentajes de alumnos que contestaron correctamente y los que justificaron correctamente junto con un análisis de las respuestas que aparecieron frecuentemente.

Pregunta 1:

La respuesta correcta es No debido al gran espacio recorrido, al pequeño diámetro de la partícula y a su baja densidad.

| | Alumnos que no aprobaron Física Ic | Alumnos que aprobaron Física Ic |
|------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Respuesta correcta | 25 % | 22 % |
| Justificación correcta | 8 % | 11 % |

El porcentaje de respuestas correctas es muy bajo y más aun el de justificación correcta. La mayoría aclara que las expresiones matemáticas correspondientes al modelo ideal sirven para el estudio del movimiento de cualquier cuerpo en el campo gravitatorio.

Pregunta 2:

La explicación correcta es la de una velocidad límite sumamente pequeña relacionada al reducido tamaño de las partículas.

| | Alumnos que no aprobaron Física Ic | Alumnos que aprobaron Física Ic |
|------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Justificación correcta | 8 % | 11 % |

El porcentaje de alumnos que justifica correctamente es muy bajo y no se aprecian diferencias importantes entre los alumnos que aprobaron y los que no aprobaron Física Ic.

En general el grupo que justifica correctamente no es el mismo que contesta correctamente la pregunta anterior, cabe preguntarnos porqué no se analiza como influye la diferencia de tamaños entre el granizo y una partícula de polvo atmosférico en el movimiento de los mismos en el campo gravitatorio.

Pregunta 3:

La respuesta correcta es que la aceleración permanece constante.

| | Alumnos que no aprobaron Física Ic | Alumnos que aprobaron Física Ic |
|--------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Respuesta correcta | 83 % | 78 % |

| | | |
|------------------------|-----|-----|
| Justificación correcta | 0 % | 0 % |
|------------------------|-----|-----|

El porcentaje de alumnos que contesta correctamente es alto, pero ningún alumno lo justifica en forma correcta.

En general se menciona que la aceleración es constante porque la aceleración de la gravedad g es constante, que lo que aumenta es la velocidad o que el rozamiento con el aire es despreciable.

Pregunta 4-a

La respuesta correcta es que la aceleración disminuye.

| | Alumnos que no aprobaron Física Ic | Alumnos que aprobaron Física Ic |
|------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Respuesta correcta | 33 % | 33 % |
| Justificación correcta | 8 % | 11 % |

El 67 % del total de alumnos contesta que la aceleración es constante, y en general lo justifican mencionando que la aceleración de la gravedad es constante, que hay mayor resistencia con el aire pero que la masa es menor y que el material no influye en la expresión de caída libre.

Pregunta 4-b

La respuesta correcta es que la aceleración disminuye, por lo anteriormente explicado.

| | Alumnos que no aprobaron Física Ic | Alumnos que aprobaron Física Ic |
|------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Respuesta correcta | 0 % | 0 % |
| Justificación correcta | 0 % | 0 % |

Es llamativo el hecho de que ningún alumno contesta correctamente esta pregunta. Además alrededor de un 67 % del total de alumnos contesta que la aceleración es constante e igual a g ya que a menor superficie, menor resistencia con el aire.

Pregunta 4-c

La respuesta correcta es que la aceleración disminuye, por lo anteriormente explicado.

| | Alumnos que no aprobaron Física Ic | Alumnos que aprobaron Física Ic |
|------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Respuesta correcta | 8 % | 0 % |
| Justificación correcta | 0 % | 0 % |

Al igual que la pregunta anterior, el porcentaje de respuesta correcta es muy bajo y ningún alumno lo justifica correctamente. Aparecen justificaciones tales como: que el rozamiento con el aire es despreciable, que la aceleración no es función de la altura, que g no es función de la altura y que a mayor distancia, mayor fuerza de interacción.

Pregunta 4-d

La respuesta correcta es que la aceleración disminuye, por lo anteriormente explicado.

| | Alumnos que no aprobaron Física Ic | Alumnos que aprobaron Física Ic |
|------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Respuesta correcta | 25 % | 0 % |
| Justificación correcta | 0 % | 0 % |

Solamente un 25 % de alumnos, los cuáles no aprobaron Física Ic., contestan correctamente, pero ningún alumno del total lo justifica correctamente. En general se menciona que la aceleración no es función de la forma de los cuerpos, que existe rozamiento pero que no afecta a la aceleración, que el rozamiento es despreciable y que la aceleración no es función de la altura.

3- PROPUESTA DIDÁCTICA

La actividad propuesta está basada en el planteo de una serie de situaciones problemáticas, bajo la forma de un trabajo práctico, de manera que los alumnos definan las experiencias que deben realizar para facilitar sus respuestas.

Se trata de promover un trabajo colaborativo de tres o cuatro alumnos por computadora, asistidos por el docente, y realizar una discusión posterior, en la que se confronten las conclusiones de los distintos grupos.

El programa utilizado está concebido para trabajar en una modalidad exploratoria, en los que los alumnos retienen el control de su aprendizaje y toman las decisiones para dar respuestas a determinadas situaciones problemáticas. Esta metodología está basada en el constructivismo y está demostrando adecuarse más a la enseñanza de disciplinas como la física, la química o la matemática. Se habla en este sentido de “ambientes de aprendizaje apoyados por el computador”, en los cuales el aprendizaje debe ser concebido como acumulativo, autorregulado por el alumno, dirigido a alcanzar metas en aprendizajes significativos, colaborativo, y asumiendo que debe tener procesos y logros individualmente diferentes (De Corte, 1996).

Para abordar su tarea, se provee previamente a los alumnos de una Guía de actividades, la que está diseñada de acuerdo a las características del grupo: suficientemente abierta como para que los alumnos desarrollen su creatividad en el diseño de las simulaciones, y con un grado tal de definición que evite la frustración frente al no saber que hacer. En la práctica se trabajó con dos guías, que diferían entre sí en el grado de generalidad de las consignas. Se transcribe a continuación la que se planteó con mayor generalidad:

3-1 GUIA DE ACTIVIDADES

3-1-1 PROBLEMA INTRODUCTORIO: Un estudiante escucha por la radio que el pronóstico meteorológico anuncia granizo y que las nubes tienen una altura aproximada a los 2000 metros. Toma una fórmula de su carpeta y calcula la velocidad con que llegarían al suelo las partículas de hielo:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 2000} = 198 \text{ m / S}$$

El estudiante se sorprende bastante de este resultado, ya que el valor es muy elevado, incluso del orden de la velocidad del sonido (320 m/S). Decide hacer un cambio de unidades, para ubicarse mejor basándose en experiencias conocidas. Encuentra que $v = 713 \text{ Km/h}$! : La velocidad con que vuelan ciertos aviones a reacción.

Piensa consultar a su profesor de Física, pero por las dudas decide no salir afuera hasta que pase el granizo.

El profesor de Física entrega un software al estudiante para que haga una simulación del fenómeno y le recomienda realizar la siguiente actividad:

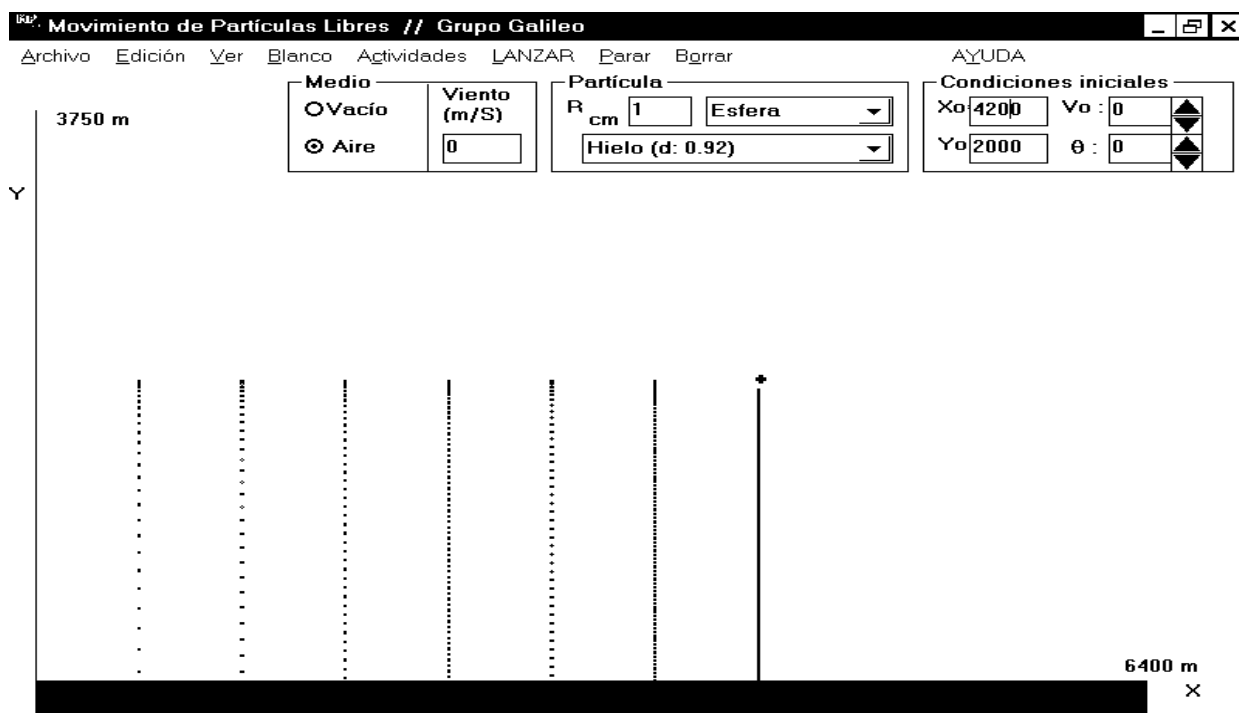
3-1-2 En los problemas de caída libre y lanzamiento de proyectiles, es frecuente utilizar las expresiones cinemáticas que se deducen de considerar una aceleración constante (**g**). Se sabe por otra parte que este modelo “ideal” tiene limitaciones en la práctica. Nos interesa, precisamente, encontrar el ámbito de aplicación del modelo, o sea: **formular los criterios cuali y cuantitativos que nos permitan decidir en que casos es válido utilizarlo**. Le proponemos alcanzar ese objetivo utilizando una simulación en computadora. Para ello, puede establecer los criterios de aproximación que considere conveniente. Tenga en cuenta que la simulación está realizada con un método numérico que no provee resultados “exactos”.

Como tarea adicional, se pide una descripción cualitativa del movimiento utilizando un modelo que tenga en cuenta la fuerza de resistencia del aire.

3-1-3 ¿ Podría explicar la relativa estabilidad de la niebla, las nubes o el polvo atmosférico?

3-2 TRABAJO CON EL PROGRAMA DE SIMULACIÓN MOVIPART

En la siguiente figura se observa la pantalla principal en la que se realizaron 7 simulaciones de caídas de cuerpos esféricos. La primera (izquierda) corresponde a la caída de un cuerpo en el vacío desde 2000 metros de altura. Las otras se realizan en aire, desde la misma altura, modificándose primero el material (densidad) y luego el tamaño.



El programa permite además visualizar y comparar las gráficas Espacio - Tiempo y Velocidad – Tiempo, identificándose cada simulación con un color distinto, y acceder a tablas de valores.

En el siguiente cuadro se muestran los valores finales de tiempo y velocidad para las simulaciones realizadas, a través de los cuales se observa que los cuerpos de menor densidad y los de menor tamaño tienen un mayor alejamiento del modelo ideal.

| Material | Radio(cm) | Medio | Tiempo (S) | Velocidad Final (m/S) |
|--------------|-----------|--------------|------------|-----------------------|
| Plomo | 5 | Vacío | 20 | -198 (Ideal) |
| Plomo | 5 | Aire | 23 | -145 |
| Piedra | 5 | Aire | 31 | -79 |
| Hielo | 5 | Aire | 45 | -48 |
| Plomo | 1 | Aire | 32 | -75 |
| Piedra | 1 | Aire | 59 | -35 |
| Hielo | 1 | Aire | 94 | -21 |

4- RESULTADOS DEL TRABAJO CON LOS ALUMNOS

La actividad se desarrolló con varios grupos de alumnos, con observación de un docente que no intervenía en la clase, y pidiendo a los alumnos que una vez concluida la actividad en la

computadora, realicen un debate sobre el tema. Tanto de la observación de la clase, como de la impresión de los docentes que coordinaron la actividad, surgen los siguientes elementos:

- Se notó una importante motivación para trabajar con esta modalidad.
- Hubo ciertas dificultades para interpretar las consignas, que en algunos casos los alumnos las resolvieron solos, en otros consultaron a otros grupos y en otros al docente.
- Hubo rotación en el manejo de la computadora.
- Trabajaban en forma cualitativa, realizando muchas simulaciones y realizando comparaciones.
- En la mayor parte de los grupos no se hizo una planificación previa de las simulaciones a realizar.
- En ciertos grupos se intentó corroborar numéricamente el resultado de la velocidad límite.
- Los grupos que planificaron y realizaron las simulaciones en forma sistemática, variando un parámetro por vez, lograron llegar a conclusiones acertadas respecto a las consignas planteadas, lo cual se reflejó en los informes finales.

5- CONCLUSIONES

A través del análisis de las encuestas, resulta evidente que los alumnos generalizan un modelo físico ideal, en el cuál la fuerza resistente del aire sería despreciable cuando se analiza el movimiento de los cuerpos en las cercanías de la superficie terrestre. En general el tema se trata cuando se abordan los contenidos de cinemática, sin hacer un correcto análisis desde un punto de vista dinámico en el cuál se consideren todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y cómo influye el tamaño, el material, la forma, la altura desde la cuál es lanzado el objeto.

De lo anterior surge que durante el cursado y más aun después de haber aprobado la materia no queda claro cuando y porqué puede usarse el modelo ideal y cuáles son sus limitaciones. Esto puede deberse al hecho de que a pesar de que se menciona la existencia del rozamiento con el aire, en las clases de resolución de problemas no se enfrenta al alumno a situaciones reales, debido a la complejidad matemática que puede presentarse.

Actividades relacionadas con este tema deberían realizarse durante el dictado de los contenidos de Dinámica, planteando problemas concretos a través de la simulación en computadora con distintos modelos físicos.

Las experiencias de las clases asistidas por computadora, resultaron muy alentadoras como para continuar con las mismas, corrigiendo y mejorando algunos aspectos de planificación y realizando nuevas pruebas diagnósticas, para arribar a resultados más cuantificables.

REFERENCIAS

- DE CORTE, ERIK. 1996. Aprendizaje apoyado en el computador: una perspectiva a partir de investigación acerca del aprendizaje y la instrucción. *Congreso RIBIE/96* (Colombia).
- LARKIN, H. y CHABAY, R.W. 1996. La Investigación sobre la enseñanza del pensamiento científico: implicaciones para la enseñanza basada en computadoras, en *Curriculum y cognición*. Recopilación de Resnick, L. B. y Klopfer L. E. (AIQUE, Buenos Aires).

- WINDSCHITL, M. y ANDRE T. 1996. Using Computer Simulations to Enhance Conceptual Change: The Roles of Constructivism Instruction and Student Epistemological Beliefs, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 35, Issue 2, pp. 145 – 160.