

MODELOS Y SIMULACIONES COMPUTACIONALES EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Autor: Hugo Alberto Kofman
Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral
Santiago del Estero 2829, (3000) Santa Fe, República Argentina
e-mail: hkofman@fiqus.unl.edu.ar

RESUMEN

Se define el concepto de Modelo y Simulación, los distintos tipos de modelos: Mentales, Físicos Idealizados, Físicos Materiales, Explícitos, Matemáticos, Deterministas y Estocásticos. Se analiza la relación de estos modelos entre sí y con las leyes físicas, y la importancia que revisten para el aprendizaje de la Física. Sobre esta base se realiza un estudio de las distintas modalidades de aplicación de las simulaciones computacionales en la enseñanza de la física, sus relaciones con los experimentos de laboratorio y sus funciones pedagógicas. Se hace referencia a experiencias realizadas, particularmente en la utilización de una modalidad exploratoria y colaborativa, con programas específicos de utilización intuitiva por los alumnos.

PALABRAS CLAVES: modelo; simulación; modalidad exploratoria; aprendizaje colaborativo; física.

INTRODUCCIÓN:

Las técnicas de simulación se vienen utilizando desde hace mucho tiempo en diversos campos de la enseñanza, como por ejemplo en el entrenamiento de pilotos de avión, o más recientemente el aprendizaje que hacen médicos anestesiólogos con cuerpos humanos artificiales.

En el campo de la investigación, las técnicas de simulación son ampliamente conocidas y aplicadas. En los años 40, los físicos atómicos introducen este método para calcular el blindaje de plomo que debía utilizarse para frenar los neutrones producidos por la fisión nuclear: se recurre a la utilización de números aleatorios, generando miles de eventos que son evaluados en forma estadística. Surge así el conocido Método Monte Carlo.

Hoy en día, las técnicas de simulación constituyen una herramienta imprescindible para la predicción en las ciencias naturales y sociales, y para la tecnología.

Con la difusión paulatina de la computadora en los centros de enseñanza, se plantea la utilización de Simulaciones para el aprendizaje de las ciencias, lo cual se propone bajo diversas metodologías.

En relación a este tema resulta necesario analizar qué dificultades pedagógicas puede ayudar a superar la utilización de simulaciones. Las mismas: ¿resultan sólo útiles para adquirir habilidades y realizar entrenamientos, o también pueden utilizarse para lograr Aprendizajes Significativos en las ciencias? .

Nos orientamos hacia la segunda de las alternativas, dando una respuesta a esta pregunta desde propuestas metodológicas basadas en teorías del aprendizaje, y desde las experiencias que se vienen realizando desde hace varios años.

Para acercarse a un fundamento teórico de esta temática, así como para abordar la aplicación de las simulaciones en la enseñanza, se requiere de ciertos conceptos científicos y pedagógicos generales. De ahí la propuesta de este trabajo, en el que se formulan en primer

término los conceptos de MODELO y SIMULACION, sus distintos tipos y funciones, y luego se abordan los aspectos pedagógicos y didácticos.

1. – DEFINICIÓN DE MODELOS Y SIMULACIONES

1.1- MODELO:

Lo definimos como una *Imagen o Representación, generalmente incompleta y simplificada de un Sistema (Físico en este caso).*

Por ejemplo, la representación de la caída de un vaso, sin velocidad inicial, por la ecuación: $y = h - \frac{1}{2} g t^2$, donde h es la altura desde donde comienza el movimiento, g la aceleración de la gravedad, t es la variable tiempo, e y la variable de posición.

Otro caso sería el de representar el comportamiento de un gas como si el mismo estuviese formado por pequeñas partículas esféricas (las moléculas), animadas de ciertas velocidades y que chocan elásticamente con las paredes del recipiente y entre sí (modelo de gas ideal). En ambos casos se pueden obtener resultados numéricos que coinciden aceptablemente con los experimentales, dentro de ciertos rangos, y que pueden ser útiles para resolver problemas prácticos.

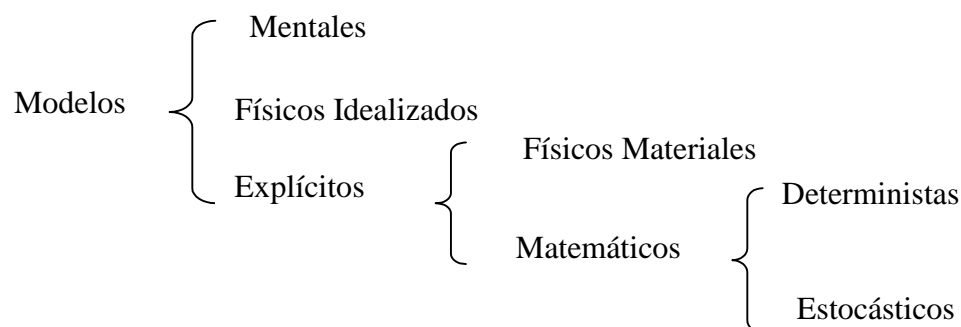
1.2.- SIMULACIÓN:

Se designa así a *la experimentación con un modelo para extraer conclusiones o realizar predicciones.*

Utilizando una computadora se podrían realizar los cálculos necesarios que contemplen todas las condiciones que podrían darse en sistemas como los anteriores. Se podría ver una animación de la caída libre en tiempo real o en tiempo retardado. También sería posible seguir el movimiento de mil “moléculas” que chocan elásticamente y determinan una presión de gas ideal. Podríamos seguir la trayectoria de un nuevo planeta que podría estar entre la Tierra y Marte, etc. Las simulaciones computacionales nos permiten “experimentar” con situaciones no accesibles a los sentidos o imposibles de crear en el laboratorio.

2. - TIPOS DE MODELOS

Daremos a continuación una clasificación que nos será útil a nuestros fines, y luego haremos la descripción de los mismos:



2.1.- MODELO MENTAL:

Es la imagen o representación mental de un sistema. Es una entidad que puede asociarse a la expresión “concepto sobre algo”, pero es más que eso. Significa que tenemos

Modelos Mentales de muchos fenómenos físicos: del equilibrio, del movimiento, de la corriente eléctrica, de la energía potencial, etc. También tenemos modelos mentales de los espacios donde habitamos, de los movimientos corporales y de los objetos, de los materiales con que interactuamos, etc.

Cuando tomamos la decisión de cruzar o no una calle frente a un vehículo que se aproxima, estamos operando con nuestro modelo mental. No realizamos cálculos matemáticos, sino que actuamos en función de experiencias anteriores. Nuestra mente procesa información en la que intervienen distancias, velocidades, características del vehículo, etc. Ese procesamiento es puramente analógico y se realiza en función de nuestro modelo mental referido a ese tipo de situación. Como vemos, Modelo Mental tiene un significado mucho más amplio que concepto o preconcepto.

Representamos los fenómenos físicos a través de ciertas imágenes, utilizando analogías con situaciones más conocidas en muchos casos.

En general, somos inconscientes de nuestros modelos mentales, los mismos pueden variar en el transcurso del tiempo y pueden tener elementos contradictorios y contornos poco definidos. Son relativamente difíciles de conocer.

Sin embargo, a los mismos se les atribuye actualmente una gran importancia desde lo pedagógico. Al igual que cuando vamos a cruzar una calle, cuando vamos a resolver un problema o dar una explicación de un fenómeno, o intentamos predecir un hecho, lo hacemos en primer lugar desde nuestro modelo mental. Aunque tengamos leyes o ecuaciones específicas, inconscientemente tendemos a operar desde nuestro modelo mental. Si el mismo es congruente con la ley física correspondiente, estaremos en el camino correcto de resolución. En cambio, si existen contradicciones importantes, es probable que "forcemos" la Ley Física para que coincida con nuestro modelo mental, y en ese caso es casi seguro que llegaremos a conclusiones erróneas.

Larkin y Chabay (1996), citando a otros autores (Chi, Feltovich y Glaser, Simon y Simon) explican los modos diferentes con que un "experto" y un estudiante abordan la resolución de un problema físico:

"Los alumnos (especialmente aquellos que obtienen altas calificaciones en las ciencias físicas) parecen trabajar en un 'espacio' psíquico de ecuaciones, tratando de recordar las ecuaciones adecuadas y de unirlas con precisión. En cambio, los expertos pasan gran parte de su tiempo de resolución de problemas en un espacio psíquico de razonamiento científico: hablan cualitativamente de fuerzas, impulsos, cambios de velocidad y de las relaciones entre ellos, sin escribir en ningún momento una ecuación" (el subrayado es nuestro)

Sin duda, la diferencia entre ambas formas de razonar está basada en el distinto nivel de desarrollo de los modelos mentales sobre el fenómeno en cuestión. El "experto", antes de escribir ecuaciones razona en forma cualitativa, es decir, se imagina la solución del problema, lo cual realiza a través de su modelo mental. En cambio al estudiante, que aún no tiene completamente desarrollado el modelo mental del fenómeno, no le queda otra alternativa que la de abordar la solución mediante la aplicación directa de las ecuaciones. Sabemos que los resultados obtenidos, de esta última forma, no siempre son correctos.

De igual modo que en el aprendizaje natural, que se desarrolla mediante la interacción con la realidad cotidiana, partiremos de la base que en el aprendizaje de las ciencias se deben producir modificaciones o creación de nuevos modelos mentales, al menos en una gran cantidad de casos. Aunque hay que asumir que esto no es muy sencillo y que generalmente no se produce el reemplazo liso y llano de un modelo por otro, sino que de alguna manera el viejo modelo sigue conviviendo, a veces contradictoriamente, con el nuevo. Un ejemplo clásico, que se dio en la teoría constructivista del aprendizaje es el del modelo "Aristotélico"

que vincula fuerza con velocidad y que está relacionado a experiencias cotidianas fuertes, el cual está en contradicción con la teoría Newtoniana, que vincula fuerza con aceleración.

Podemos dar un ejemplo de electricidad: Luego de desarrollada en clase la ley de Ohm y la teoría de circuitos, de realizar varias experiencias y de resolver múltiples problemas, hemos pedido a los alumnos que toquen el “polo vivo” de un tomacorrientes, estando aislados de tierra por su calzado. La inmensa mayoría se niega a hacerlo, lo cual está relacionado al Modelo Mental erróneo que conservan sobre la corriente eléctrica. La imaginan como una especie de fuerza o fluido misterioso que existe en los conductores “electrizados” y que es capaz de electrocutarnos pasando a nuestro cuerpo por el solo contacto con el mismo. No se piensa (íntimamente) que todo nuestro cuerpo es un conductor formado por partículas con cargas eléctricas y que estas sólo pueden circular en forma de corriente por el cuerpo cuando entre dos puntos del mismo se establece una diferencia de potencia permanente, lo cual no se verifica en caso de estar aislados de tierra.

La modificación del modelo mental es entonces un proceso contradictorio y que se extiende en el tiempo. Sería lo que vulgarmente se denomina “decantación de los conocimientos”, expresión que hace referencia a un proceso lento.

El concepto de modelo mental tendrá importancia para nosotros en dos sentidos: Como punto de partida para la generación del modelo explícito, como luego veremos, y además cuando estudiemos el proceso de aprendizaje con ayuda de simulaciones computacionales.

2.2.- MODELO FÍSICO IDEALIZADO

Lo definimos como *una representación idealizada del sistema, con la enunciación de los atributos que se tomarán en cuenta y la explicitación de las simplificaciones realizadas.*

Cuando estudiamos la caída de un vaso, prescindimos de su forma, del material con que está construido, de su color, etc. Lo representamos por una *partícula*. Luego despreciamos la fuerza resistente del aire, la variación del campo gravitatorio con la altura y las fuerzas inerciales producidas por la rotación terrestre. Llegamos así al Modelo Físico Idealizado: una partícula material con una cierta masa, que se mueve bajo la acción de una sola fuerza constante (el peso). Ahora se pueden aplicar las ecuaciones correspondientes, es decir, formular el *modelo explícito*, y resolver el problema de acuerdo a sus datos.

Sobre un determinado sistema físico se pueden plantear distintos modelos físicos idealizados, de acuerdo a los aspectos que nos interesen. Para estudiar la rotación de la Tierra alrededor del sol, podemos considerar a esta como una partícula, como si toda su masa estuviera concentrada en el centro de la misma. En cambio para analizar la rotación alrededor de su eje, pensamos en la tierra como en una esfera, como primera aproximación. En el caso que nos interesara estudiar la dinámica del movimiento de precesión terrestre deberíamos tener en cuenta el achatamiento en los polos.

Volviendo al tema de la caída de los cuerpos, es muy importante que tengamos en cuenta la función y el lugar que ocupa el Modelo Físico Idealizado en el análisis de un problema o fenómeno físico. Por un lado ha sido necesario para la construcción del modelo matemático, pero *para plantearlo hemos utilizado un modelo mental*, es decir: no hemos realizado cálculo alguno, ni consultado datos numéricos, sino que simplemente hemos considerado sobre la base de nuestra experiencia que era posible realizar tales simplificaciones, lo cual puede o no ser correcto. Quizás si hubiéramos tenido que calcular datos de la caída de una hoja de papel, o de algún otro cuerpo desde 15.000 Km de altura, no hubiéramos planteado tan simplemente el modelo de partícula con fuerza constante.

Esto nos muestra por un lado la gran importancia que tiene el modelo mental a la hora de resolver un problema, y al mismo tiempo el lugar que ocupa el Modelo Físico Idealizado, como etapa intermedia entre el modelo mental y el modelo explícito.

2.3.- MODELO EXPLÍCITO

Lo consideramos como *una representación operativa del mundo físico. Como tal, es comunicable, estable y bien definido.*

Como ya se mencionó, el modelo explícito se origina en un modelo mental y en un modelo físico idealizado, actuando este último como nexo entre los primeros. Se podría decir que el grado de coherencia con el modelo mental no siempre es total.

Los modelos explícitos más importantes son los modelos físicos materiales y los modelos matemáticos, aunque se pueden dar combinaciones. Por su importancia para este tema, nos ocuparemos preferentemente de los últimos.

2.3.1.- MODELO FÍSICO MATERIAL

Es la *representación del sistema físico por medio de otro sistema físico, entre los cuales puede haber coincidencia de atributos o simple analogía.*

Un ejemplo podría ser el de cuba de ondas, mediante la cual se generan ondas en la superficie del agua para estudiar varios fenómenos que tienen correlación en otros tipos de ondas. También ciertos modelos a escala, de fenómenos físicos, como el salto de una chispa en un generador electrostático, que simula una descarga atmosférica. Son modelos que se utilizan ampliamente en desarrollos tecnológicos.

Hay casos en que los fenómenos comparados son totalmente disímiles y solo se utilizan analogías para realizar comparaciones. Por ejemplo, un sistema masa - resorte con rozamiento puede ser representado por un circuito eléctrico RLC, dado que responden a ecuaciones diferenciales similares.

2.3.2.- MODELO MATEMÁTICO Y SU RELACIÓN CON LA LEY FÍSICA

Llamamos *Modelo Matemático a la representación de un sistema por medio de ecuaciones matemáticas o distribuciones estadísticas de valores aleatorios.*

Los modelos computacionales, a los que nos hemos referido, no son más que modelos matemáticos calculados en computadora.

No se debe confundir Modelo Matemático con Ley Física. El primero es la representación de un sistema en particular por medio de expresiones matemáticas, mientras que la Ley Física es un enunciado de carácter general que responde a una determinada teoría sobre el mundo físico. Para generar un modelo matemático, generalmente utilizamos leyes físicas, para lo cual planteamos primero el modelo físico idealizado, es decir, generamos una representación simplificada del sistema, seleccionamos las variables a tener en cuenta y deseamos otras que consideramos no necesarias para el problema, o simplemente de peso despreciable para el grado de aproximación que buscamos.

Podemos ver esto en un ejemplo: Nos interesa calcular el Campo Eléctrico en el interior de un condensador plano, sin dieléctrico, con cierta carga Q .

Plantearémos primero el modelo físico idealizado: los dos conductores están cargados con cargas de igual magnitud y de signo contrario, toda la carga neta reside en las superficies enfrentadas, la densidad superficial de carga es uniforme y el campo eléctrico también es uniforme. Despreciamos los efectos de borde y la existencia de cargas en las superficies exteriores.

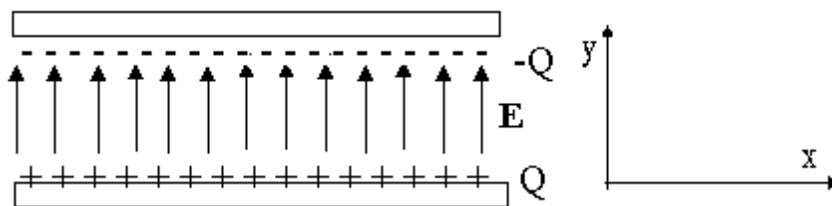


Fig. 1

A este Modelo Físico Idealizado, aplicamos ahora la Ley de Gauss (una de las cuatro leyes generales del electromagnetismo), suponiendo que el campo eléctrico es exactamente cero en el interior de los conductores. Luego de ciertas operaciones matemáticas que no nos interesan en este momento, arribamos a la expresión:

$$\vec{E} = \frac{Q}{A\epsilon_0} \vec{j} \quad (1)$$

Hemos llegado así al Modelo Matemático que representa, con cierto grado de aproximación, el campo eléctrico dentro de un condensador cargado.

El modelo físico idealizado que formulamos tiene claras limitaciones, pero cuando el área de las placas es muy grande y la distancia entre las mismas es pequeña, genera un modelo matemático aceptable y útil para muchas aplicaciones prácticas.

Hemos visto además la diferencia y la relación entre Ley Física y Modelo Matemático. Sin embargo, hay que tener en cuenta que algunos modelos matemáticos no se basan en leyes físicas, dado que resulta menos complicado utilizar expresiones empíricas que ajusten en forma suficientemente adecuada con el fenómeno. Esta forma de proceder es común en cálculos ingenieriles en los cuales intervienen gran cantidad de variables.

Por otra parte, en el análisis anterior, hemos considerado el Modelo Físico Idealizado como una representación de un sistema particular y planteamos la diferenciación entre Ley Física y Modelo. Profundizando un poco en el tema, habría que considerar que las Leyes Físicas responden a un modelo físico idealizado de carácter general. Por ejemplo, la Ley de Gravitación Universal de Newton lleva implícito el modelo de partícula, o las leyes del electromagnetismo clásico suponen que los campos se establecen y propagan en forma continua, lo cual tiene un alto grado de validez a niveles macroscópicos. Es conocido que a nivel atómico se deben utilizar las leyes de la Física Cuántica, la cual implica a su vez un modelo diferente.

En síntesis, podemos decir que las Leyes Físicas son expresiones de carácter general, enmarcadas en cierta teoría, la cual lleva en forma explícita o implícita un modelo general asociado. Esas leyes físicas nos permiten construir los modelos matemáticos de fenómenos físicos singulares sobre la base de la formulación de los modelos físicos idealizados de carácter particular.

2.3.2.1- MODELOS MATEMÁTICOS DETERMINISTAS

Están formados *por ecuaciones que ante un determinado juego de valores de los parámetros iniciales, reproducen siempre la misma solución.*

Son los modelos más comunes, tales como el del campo eléctrico o el de la caída libre que ya se mencionó, o el del movimiento planetario. Las ecuaciones diferenciales representan modelos de este tipo.

2.3.2.2- MODELOS MATEMÁTICOS ESTOCÁSTICOS

Son aquellos que *se componen por el procesamiento de gran cantidad de datos aleatorios que responden a algún tipo de distribución, no reproduciendo los mismos resultados a partir de idénticos parámetros iniciales.*

Se utilizan estos modelos cuando los sistemas se componen de gran cantidad de elementos cuyo comportamiento solo puede ser previsible en términos estadísticos. Un ejemplo clásico es el del frenado de neutrones que dio origen al llamado Método Monte Carlo. El método se utiliza hoy en forma muy amplia, no sólo en la Física, sino en casi todas las ciencias. Hasta el diseño de los sistemas de control de tránsito vehicular se realiza sobre la base de estos modelos.

Para acercarnos más a la idea, describiremos a continuación en forma breve cómo funcionaría un modelo simplificado del blindaje de neutrones que mencionamos.

Se asigna en forma aleatoria una velocidad al neutrón, cuyo módulo está acotado por cierto valor máximo, y sus tres cosenos directores en el espacio son también aleatorios. Con estos parámetros se lo hace ingresar al blindaje, supuesto como una plancha plana de cierto espesor. Para cada neutrón que ingresa, luego de recorrer cierta distancia (aleatoria, de acuerdo a cierto camino libre medio) se produce un cambio aleatorio de dirección y una cierta disminución de la velocidad, lo cual simula un choque parcialmente inelástico con un núcleo de plomo del material. El proceso se repite hasta que la velocidad del neutrón se anula, o hasta que salga por algún lado del blindaje. Para cada neutrón ingresado puede ocurrir que: se detenga dentro del blindaje, salga por el mismo lado por el que ingresó, o salga por el otro lado. Contabilizando el porcentaje de estos últimos casos para una gran cantidad de ensayos, se podría evaluar la efectividad del blindaje y utilizar esa información para el diseño de ese dispositivo.

El modelo que se utiliza para estos cálculos es bastante más complejo que el descripto, sin embargo éste resulta suficiente como para acercarse a una solución del problema y sobre todo para entender la esencia del método Monte Carlo.

Hay procedimientos de simulación que pese a la enorme velocidad de las computadoras requieren de varios días o semanas para su ejecución, dada la gran cantidad de datos que hay que procesar.

3.- LA SIMULACIÓN ACTUANDO SOBRE EL MODELO MENTAL

Hemos visto cómo pasamos desde el Modelo Mental al Modelo Físico Idealizado, y de este al Modelo Matemático. De ahí pasamos a la Simulación, que no es más que la experimentación con dicho modelo. Ahora veremos de alguna manera el proceso inverso: cómo la Simulación puede actuar modificando nuestro modelo mental, es decir ubicándonos en una situación de aprendizaje.

La función pedagógica de la Simulación tiene mucho en común con el rol de la experimentación, cuyo valor apreciamos enormemente en la Física.

Observar el movimiento orbital de un planeta alrededor del sol a través de la pantalla de la computadora evidentemente no es igual que verlo en la realidad a través del telescopio o de la visión directa. Esto último produce un impacto mucho más fuerte y resulta más creíble que un pequeño círculo que se mueve en la pantalla, pero con algunos inconvenientes: En la visión directa necesitamos de muchas observaciones a lo largo del año, las cuales se harán desde un sistema de referencia que cambia permanentemente de posición, habrá épocas en que la luz diurna no nos permitirá observar al planeta, y tampoco podemos modificar parámetro alguno del movimiento. Podemos observar, pero no podemos experimentar.

En cambio, una simulación computacional nos permite reducir los tiempos, modificar los parámetros de la órbita, elegir el sistema de referencia y “ver” el planeta en cualquier época del año, sin telescopio. Se puede observar la animación y obtener los datos numéricos que sean necesarios.

De igual manera se puede operar con un simulador de vuelo, de viajes espaciales, de lanzamiento de partículas en el campo gravitatorio, de difracción de la luz, etc. En todos estos casos, la simulación permite “experimentar” en condiciones que resultan imposibles de generar en el laboratorio. Se trata de programas que permiten un alto grado de interacción del alumno con el fenómeno físico representado.

La función pedagógica central que le asignamos al uso de las simulaciones es entonces la de ayudar en el desarrollo del modelo mental sobre el fenómeno, dada la trascendente importancia que tiene este aspecto del aprendizaje. Pero esta función que está planteada en términos cualitativos, se debe vincular a aspectos cuantitativos, es decir a las expresiones matemáticas del fenómeno.

Dentro de este contexto, se trata de precisar cómo se deben utilizar las simulaciones, dado que representan una herramienta didáctica de nuevo tipo.

4.- MODALIDADES DE USO DE SIMULACIONES EN EL APRENDIZAJE DE LA FÍSICA

Hemos mencionado precedentemente la posibilidad de utilizar simulaciones como simple reemplazo de las experiencias de laboratorio, lo cual brinda posibilidades enormes, dado el carácter irrestricto de la variación de parámetros que nos permiten. Sin embargo, para evitar la imagen de artificialidad que se puede generar en el alumno, se aconseja vincular la Simulación con el experimento real. Se trata de observar sus coincidencias y luego utilizar la simulación como una extensión de la propia experiencia. Esto en la medida que sea materialmente posible.

Comparando la experiencia real con la simulación, el alumno llega a tener una idea más clara del significado de modelo matemático: observar cómo éste se aproxima a la realidad, pero que en ciertas condiciones puede tener importantes discrepancias.

De igual manera resulta útil comparar distintos modelos matemáticos con un sólo fenómeno físico, para ver el rango de validez de cada uno. Al respecto, hemos tenido experiencias interesantes con el tema de la caída libre de los cuerpos, donde se ponen en discusión las condiciones para la aplicabilidad del modelo ideal sin resistencia del aire. La velocidad de cálculo y posibilidades gráficas de la computadora hacen posible esta actividad, en la que los alumnos realizan gran cantidad de simulaciones en condiciones distintas para estudiar el fenómeno. En esta modalidad, el alumno puede escoger entre distintos modelos matemáticos ya programados, que deben presentarse en forma totalmente explícita, y estudiar su funcionalidad al fenómeno. Esto conviene realizarlo con software del tema específico, dado que en el mismo resulta posible incorporar una serie de elementos que hacen a ese problema, con un manejo sencillo en lo que hace a la interfase gráfica.

Otra modalidad de encarar el problema es a través de algún sistema editor, en el cual los alumnos escriban o modifiquen las expresiones matemáticas, lo cual desplaza un poco el centro de atención hacia el propio modelo matemático, sin que ello implique dejar de lado los aspectos fenomenológicos. Esta segunda forma implica una mayor dificultad y una mayor penetración con el modelo matemático y su relación con el fenómeno.

Una tercer posibilidad, consiste en la programación de modelos computacionales por parte de los propios alumnos, lo cual, además de requerir un estudio teórico previo del tema, implica el manejo de estructuras algorítmicas y de un lenguaje de programación. Tal

elaboración representa un análisis amplio del problema, considerando todas las alternativas posibles, lo que significa el mayor grado de aprendizaje en la resolución del problema.

Las tres alternativas planteadas, que en si mismas pueden contener distintas variantes, están propuestas en orden creciente de dificultad y también de profundización de conocimientos.

En este trabajo centramos la atención en la primera de las modalidades propuestas. en la cual los alumnos trabajan en forma grupal con modelos computacionales previamente desarrollados, en el cual pueden seleccionar distintos modelos, pero no escriben ni modifican expresiones matemáticas.

5. - LA SIMULACIÓN COMO RECURSO DIDÁCTICO EN FORMA DE AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAJE

Como ya se mencionó, los modelos computacionales, pueden ser utilizados en forma combinada con las experiencias de laboratorio, las que a su vez pueden automatizarse por computadora, o como simple reemplazo de las mismas. Abordaremos esta última modalidad, la que puede hacerse extensiva a la primera.

En pocos minutos los alumnos aprenden las funciones del programa y su forma de operación. Se trata de ambientes virtuales de aprendizaje, de carácter interactivo, en los cuales los efectos y representaciones gráficas, además de ser representativas del fenómeno estudiado, deben generar una motivación adicional.

El modo de trabajo que privilegiamos se conoce con el nombre de Exploratorio, lo cual significa que el alumno tiene libertad para explorar distintas alternativas e ir definiendo su propio camino para alcanzar ciertos objetivos. Este mecanismo está fundamentado en el constructivismo y se diferencia del modelo conductista, que va guiando al alumno a través de recorridos previamente establecidos, inclusive, en ciertos casos, asignándole puntaje de acuerdo a los aciertos o errores.

Para fijar ideas, se puede ejemplificar cómo se plantea resolver una misma cuestión sobre la caída libre de los cuerpos con un software específico de simulación gráfica o elaborado mediante una planilla de cálculo, a través de una u otra metodología:

1 - (Constructivista - Exploratoria) Determine mediante la simulación, cómo se relacionan matemáticamente el tiempo de caída, la velocidad final y la altura en la caída libre sin resistencia del aire.

2 - (Conductista) Realice simulaciones de caída libre sin resistencia del aire desde 100 m, 200 m y 300 m de altura. Mida en cada caso la velocidad final y el tiempo de caída. Determine con tales valores, si se cumplen o no las siguientes relaciones de proporcionalidad:

:

- a) h con v (SI) (NO)
- b) h con t^2 (SI) (NO)
- c) h con v^2 (SI) (NO)
- d) h con v (SI) (NO)
- e) v con t (SI) (NO)
- f) v con t^2 (SI) (NO)

En la primera modalidad, el alumno debe tomar varias decisiones, trabajando por prueba y error, de acuerdo a una modalidad exploratoria basada en el constructivismo:

- Realizar simulaciones de caídas desde distintas alturas.

- Establecer las variables a relacionar.
- Probar con distintas expresiones matemáticas de acuerdo a su intuición o inventiva.

En el segundo caso el alumno sólo realiza los pasos previamente establecidos y comprueba numéricamente las relaciones propuestas por el docente y puede inclusive obtener un puntaje de acuerdo a lo que responde. Se trata de una metodología conductista.

No se plantea simplemente desechar esta última posibilidad, dado que para cierto nivel y objetivos puede resultar adecuada: los alumnos se familiarizan con el fenómeno y ejercitan el cálculo de proporcionalidad. Además, no hay que perder de vista que la propuesta constructivista representa una mayor dificultad, y que si el alumno no está en condiciones de abordarla, puede representarle una frustración.

Además, para resolver el mismo problema, puede haber más de un enunciado constructivista. En vez de la propuesta (1) se podría haber formulado la siguiente:

3) Encuentre las regularidades entre variables extremas en el movimiento de caída libre sin resistencia del aire mediante la simulación.

Esta propuesta representa mayor dificultad aun que la primera. De esta manera se explica que la formulación de una propuesta constructivista requiere de una elaboración cuidadosa, que se adecue al grupo de alumnos.

A pesar de estos problemas, se considera necesario privilegiar esta metodología, dado que la misma potencia la creatividad, la autonomía en el aprendizaje y la capacidad de razonamiento. Para ello, el aprendizaje debe plantearse más basándose en metas a alcanzar que en tareas enunciadas a desarrollar. Un aspecto no menos importante a tener en cuenta es el carácter colaborativo de esta modalidad: los alumnos trabajan en grupos, con aportes de ideas y debate de conjunto.

En lo que hace a contenidos específicos, el alumno se familiariza con los fenómenos, comprende el significado de Modelo Matemático, y la posibilidad de trabajar con modelos más o menos cercanos a la experiencia real.

Para esto es necesario explicitar el modelo y en lo posible el método de cálculo. El alumno, cuando trabaja con una simulación debe ser plenamente consciente del modelo que utiliza, su expresión matemática y que el mismo es sólo una aproximación al fenómeno real.

Bibliografía:

-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, HILL H., CHABAY, RUTH W. (Madrid 1996), “La Investigación sobre la enseñanza del pensamiento científico: implicaciones para la enseñanza basada en computadoras”. Recopilación de Resnick, Lauren B. y Klopfer Leopold E, “Curriculum y cognición”. Editorial AIQUE.

- VARSAVSKY, OSCAR. (Buenos Aires 1982). “Metodología: Modelos Matemáticos y experimentación numérica”, capítulo VI de “Obras Escogidas”. Centro Editor de América Latina.

-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.