

Qualitative approach for the teaching of physical concepts

Juan J. Álvarez-Sánchez, Jose V. Álvarez-Bravo and Francisco J. González-Cabrera

Departamento de Informática, Campus de Segovia. Universidad de Valladolid
40005-Segovia, Spain

{jjalvarez, jvalvarez, fjgonzalez}@infor.uva.es

Abstract. Educational sciences institutions are falling in popularity due to learning difficulties that students have when they choose an education in science. These difficulties could be overcome if these students are provided with a good causal understanding of the domain they are studying.

A new pedagogical methodology established showing the differences between the standard teaching and the qualitative one. The latter including building and inspecting general models of physical systems using HOMER and VISIGARP.

Aproximación cualitativa a la docencia de conceptos físicos

Juan J. Álvarez-Sánchez, Jose V. Álvarez-Bravo y Francisco J. González-Cabrera

Departamento de Informática, Campus de Segovia. Universidad de Valladolid
40005-Segovia, Spain
{jjalvarez, jvalvarez, fjgonzalez}@infor.uva.es

Resumen Las dificultades en el aprendizaje que los estudiantes de ciencias se están encontrando están propiciando un descenso en el interés de los mismos en temas científico-técnicos. Estos problemas de aprendizaje pueden ser superados si a dichos estudiantes se les provee de una comprensión causal de los procesos que tienen lugar en el dominio de estudio. Después de establecer la metodología pedagógica para un nivel educativo determinado se mostrarán las diferencias entre la metodología docente habitual y la basada en Razonamiento Cualitativo. Para ilustrar estas diferencias se utilizará la herramienta de modelado cualitativo HOMER y el interfaz gráfico VISIGARP.

1. Introducción

La presente investigación está enfocada a resolver los problemas que los estudiantes encuentran cuando tienen que entender el comportamiento dinámico de sistemas físicos [1]. Para la simulación cualitativa se usará GARP¹ como motor de simulación cualitativa [2]. Dentro de este marco de trabajo se usará también HOMER, un entorno de modelado que permitirá la construcción de modelos mediante un interfaz gráfico [3,4,6]. Estos modelos, contruidos con HOMER, serán los datos de entrada del motor GARP. Las salidas generadas por GARP serán visualizadas con VISIGARP, una herramienta gráfica que facilitará los procesos de búsqueda, reconocimiento e inferencia a realizar sobre la simulación [5]. Se pretende mejorar sustancialmente el proceso de aprendizaje por medio de un entorno de aprendizaje basado en el Razonamiento Cualitativo y guiando las actividades de los estudiantes en función de su nivel educativo.

Se presentará pues, un sistema físico muy general con el que conformar un sistema de trabajos tutorizados para estudiantes de Enseñanza Secundaria [7].

2. El problema del aprendizaje

Se parte de un nivel educativo en el que no existe un conocimiento de las técnicas matemáticas al uso para la resolución de Ecuaciones Diferenciales ordinarias (EDO's), esto es, estudiantes de Enseñanza Secundaria. Para superar

¹ El software puede ser descargado desde www.swi.psy.uva.nl/projects/GARP/

dichas dificultades de aprendizaje este trabajo se enmarcará dentro de la ontología de la Teoría Cualitativa orientada a Procesos (QPT) [8]. Como método pedagógico se elegirá el *basado en trabajos a realizar por el alumno* que deberá ser realizado en el marco del razonamiento cualitativo [1,7,4,9]:

- *Predicción y Post-dicción del comportamiento:* A través de la observación de los fenómenos físicos los estudiantes deberían ser capaces de establecer una predicción global del comportamiento que les permita comprobar si sus modelos están o no funcionando correctamente (análisis del comportamiento).
- *Obtener el comportamiento a partir de la estructura:* Derivar, a partir de los parámetros estructurales del sistema y de sus relaciones causales el comportamiento del mismo.
- *Enfoque y asunciones:* Un particular enfoque del sistema global dará lugar a la caracterización, bajo determinadas condiciones, de los parámetros relevantes.
- *Relaciones causales:* Descripción de las relaciones Causa-Efecto.
- *Reusabilidad:* Derivar un modelo cualitativo abstracto tal que pueda representar varios fenómenos físicos aparentemente distintos.

3. “El oscilador armónico simple”

“El oscilador armónico simple” será el sistema considerado ya que reúne dos condiciones muy deseables para los propósitos de este trabajo. Existen multitud de sistemas físicos que responden a este comportamiento y las matemáticas que lo describen, aunque sencillas, no son triviales.

Considérese un muelle que está enganchado a una masa tal y como aparece en la (fig 1).

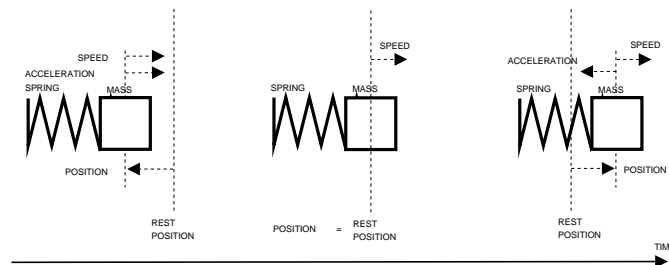


Figura 1. Comportamiento del muelle

Como puede apreciarse en la (fig 1) las magnitudes cinemáticas muestran el comportamiento del mismo (la representación cinemática o acausal) mientras que las leyes de Newton y Hooke dotan al sistema físico de las interacciones que dan sentido causal (dinámico) al comportamiento del muelle.

3.1. Lenguaje matemático típico

En la (fig 1) se puede apreciar como la fuerza de restauración del muelle desplaza a la masa hacia la derecha que escrito en el lenguaje de las EDO's y utilizando la notación estandar para la derivada temporal nos proporciona la ecuación diferencial ordinaria para el Oscilador Armónico Simple

$$\ddot{x} + \omega^2 x = 0 \quad (1)$$

$$\text{con } \omega^2 = \frac{K}{m}.$$

Llegados a este punto, disponemos de dos opciones docentes:

1. Proporcionar a los estudiantes la solución $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$ para que ellos comprueben en la ecuación (1) que, efectivamente, ésta la cumple.
2. Proporcionar a los estudiantes las técnicas matemáticas necesarias para su resolución.

En ambos casos aparece un problema pedagógico . En el primero los estudiantes no entenderán el *porqué* del comportamiento físico del sistema dado por la ecuación (1). En el segundo debemos dotarles de las técnicas matemáticas al uso lo que para ellos no es trivial.

3.2. Lenguaje Cualitativo

Con el fin de construir un modelo comprensible tanto para el profesor como para el alumno, es necesario que el lenguaje del mismo esté próximo a aquel que la gente usa en sus procesos cognitivos.

Para ello, se debe traducir la descripción estándar del modelo físico al lenguaje cualitativo usando para ello la herramienta de modelado HOMER y el interfaz VISIGARP.

La parte cualitativa del modelo emerge de manera natural a través de las relaciones funcionales (proporcionalidades) y su evolución temporal (derivadas temporales o influencias) entre las magnitudes anteriormente descritas.

Estos 'fragmentos de modelo' se podrán usar posteriormente para la construcción de otros modelos cualitativos si son suficientemente generales.

El modelo cualitativo A primera vista y de forma intuitiva el problema puede ser descrito por la relación cualitativa entre las entidades descritas en la (fig 2)



Figura 2. Representación cualitativa

(interacción, muelle y masa) que están conectadas de forma que la primera deforma a la segunda que producirá el movimiento de la tercera. Las características propias de la masa conectada al muelle serán por tanto la posición medida con respecto de la posición de equilibrio (landmark), su velocidad y el cambio de la misma (aceleración). Finalmente, la característica que identificará al muelle será la fuerza de restauración del mismo que vendrá dada por la ley de Hooke.

Por supuesto, la dinámica vendrá dada por las relaciones entre las magnitudes anteriormente presentadas. En la (fig 3) se puede apreciar que hay dos influencias positivas entre las tres magnitudes relevantes que caracterizan a la entidad masa. Dichas influencias aparecen como resultado de las relaciones cinemáticas entre la posición, velocidad y la aceleración al contrario que las proporcionalidades de las que se derivan las relaciones causales vía las leyes de Newton y Hooke. El muelle se deforma debido a una fuerza externa que es directamente proporcional (en el sentido matemático y cualitativo) a la aceleración (segunda ley de la dinámica de Newton). Esta fuerza hace que cambie la posición de la masa de forma que aparece una fuerza de restauración que se opone al movimiento de dicha masa (ley de Hooke).

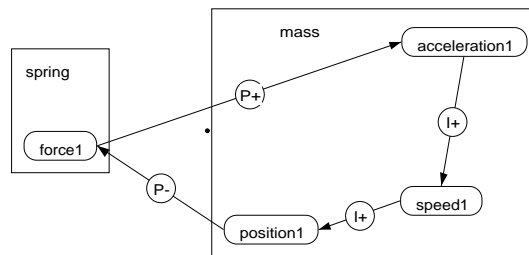


Figura 3. Dependencias entre cantidades cualitativas

Resultados de la simulación: significado físico La evolución del sistema físico en el tiempo (dada por la transición entre los estados) nos proporciona la evolución en el tiempo (historia) de las magnitudes cualitativas relevantes que será considerada en esta sección:

- En la (fig 4) se puede apreciar cómo 'actúa' la ley de Newton. El comportamiento cualitativo de la aceleración y la fuerza es el mismo ya que ambas magnitudes están relacionadas por una proporcionalidad positiva.
- Desde un punto de vista cualitativo, la evolución temporal del muelle es la siguiente: Comienza desde una posición inicial positiva, dentro del intervalo abierto que denominamos *plus* y sin una tendencia definida (esto significa que el muelle está estirado al máximo).

Debido a que el sistema es simétrico, sabiendo qué es lo que sucede en los primeros cuatro estados se podrá inferir fácilmente qué sucede desde el estado cinco hasta el estado ocho:

1. La deformación del muelle y su aceleración no cambian mientras que la velocidad decrece (la masa está yendo hacia la izquierda). Es en este estado donde los estudiantes pueden ver cómo la fuerza de restauración del muelle, dada por la ley de Hooke, comienza a trabajar.
2. En este estado la masa continua hacia la posición de equilibrio, por lo que su velocidad es negativa con la misma tendencia que en el estado anterior, y la aceleración es también negativa con tendencia a incrementarse.
3. En este estado se ha alcanzado la posición de equilibrio. La velocidad es la máxima posible y la aceleración es cero con tendencia positiva.
4. En este estado ya se ha superado la posición de equilibrio. La velocidad es negativa y la aceleración es positiva e incrementándose para así disminuir el valor de la velocidad (fuerza de restauración del muelle).

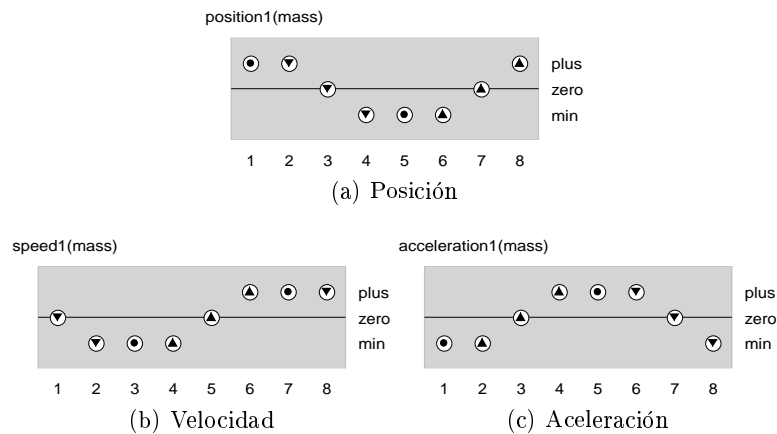


Figura 4. Magnitudes cinemáticas

El estado número cinco será el mismo que el estado número uno pero con todos los signos cambiados (el muelle está comprimido al máximo) mostrando la simulación que el muelle muestra un comportamiento oscilatorio no amortiguado centrado en la posición de equilibrio.

Cuestiones para el aprendizaje tutorado Como parte fundamental de la definición de los objetivos de aprendizaje y como guía para el alumno

mientras estudia los resultados obtenidos por la simulación, se debe hacer uso de un conjunto de cuestiones sobre el comportamiento del sistema de forma que éstas extraigan los aspectos fundamentales del mismo. A modo de ejemplo se presentan las siguientes:

- ¿Por qué no aparece la fuerza de restauración bajo el enfoque cinemático?
Porque no es una magnitud cinemática sino dinámica. Es la causa de que el muelle responda frente a una fuerza inicial externa.
- ¿Por qué se comportan de igual forma la fuerza y la aceleración?
Porque como se puede apreciar en la (fig 3) la aceleración y la fuerza están relacionadas por una proporcionalidad positiva, esto es, si una aumenta la otra aumenta al mismo tiempo y viceversa.
- ¿Cómo están relacionadas la variable cinemática *posición* y la dinámica *fuerza de restauración* y por qué?
En la (fig 3) se puede apreciar que la posición y la fuerza están relacionadas por una proporcionalidad negativa ya que la fuerza de restauración siempre trabaja en la misma dirección pero en sentido opuesto a la deformación del muelle.
- ¿Por qué la velocidad de la masa es constante en la posición de equilibrio?
Porque, como se muestra en la (fig 4), cuando la masa pasa a través de la posición de equilibrio (estados tres y siete) la aceleración es cero, por lo que la velocidad permanece constante y en su valor máximo.
- ¿Cuáles son las principales características de un comportamiento oscilatorio no amortiguado?
Las características fundamentales del movimiento oscilatorio no amortiguado son: el comportamiento periódico, como se puede apreciar en la (fig 4), y la no existencia de restricciones energéticas. Esto último se consigue eligiendo intervalos abiertos en lugar de intervalos cerrados por landmarks que representarían los valores máximos para las magnitudes cinemáticas del problema considerado con unas restricciones energéticas dadas.

4. Conclusiones y futuras líneas de investigación

Se expone pues una nueva metodología de enseñanza basada en el formalismo del Razonamiento Cualitativo que permite al alumno superar las dificultades de aprendizaje que pueden aparecer cuando se enfrenta a la comprensión de un sistema físico sin conocimientos matemáticos adecuados a la complejidad del mismo.

Las futuras líneas de investigación se dividen en dos direcciones complementarias:

1. Someter esta nueva metodología a un experimento que evalúe su eficiencia con estudiantes de Enseñanza Secundaria.
2. Desarrollo de nuevos modelos físicos para conseguir así una librería de modelos tan variada como sea posible de forma que el estudiante pueda utilizar estos recursos en un aprendizaje tutorado.

Referencias

1. B. Bredeweg and K. Forbus. 2003. *Qualitative Modeling in Education*. *AI Magazine*, Volume 24, Number 4, pages 35-46.
2. B. Bredeweg. 1992. *Expertise in Qualitative Prediction of Behaviour*. *Ph.D. thesis*, University of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands.
3. V. Bessa Machado and B. Bredeweg. 2003. *Building Qualitative Models with HOMER: A Study in Usability and Support*. *Proceedings of the 17th International workshop on Qualitative Reasoning, QR'03*, P. Salles and B. Bredeweg (eds), pages 39-46, Brasilia, Brazil, August 20-22.
4. V. Bessa Machado and B. Bredeweg. 2002. *Investigating the Model Building Process with HOMER*. *Proceedings of the International workshop on Model-based Systems and Qualitative Reasoning for Intelligent Tutoring Systems*, B. Bredeweg (ed), pages 1-13, San Sebastian, Spain, June 2nd.
5. A. Bouwer, B. Bredeweg. 2001. *VisiGarp: Graphical Representation of Qualitative Simulation Models*, *Artificial Intelligence in Education: AI-ED in the Wired and Wireless Future*. J.D. Moore, G. Luckhardt Redfield, and J.L. Johnson (eds.), pages 294-305, Amsterdam, The Netherlands:IOS.
6. V. Bessa Machado and B. Bredeweg. 2001. *Towards Interactive Tools for Constructing Articulate Simulations*. *Proceedings of the 15th International workshop on Qualitative Reasoning, QR'01*, G. Biswas (editor), pages 98-104, San Antonio, Texas, USA, May 17-19.
7. A. Bouwer, V. Bessa Machado, B. Bredeweg. 2002. *Interactive Model building Environments*, *The Role of Communication in Learning to model*. P. Brna, M. Baker, K. Stenning and A. Tiberghien (eds.) pp. 155-182, Lawrence Erlbaum Associates, London UK..
8. K.D. Forbus. 1984. *Qualitative Process Theory*, *Artificial Intelligence*, vol 24, pp. 84-168..
9. B. Bredeweg and R. Winkels. 1998. *Qualitative models in Interactive Learning Environments: an Introduction*. *Interactive Learning Environments*, Volume 5, Number 1-2, pages 1-18.