

Aproximación cualitativa a la docencia de conceptos físicos

Qualitative approach to physical concepts teaching

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

M. Antonia López-Luengo y Belén Salamanca-Escorial

*Departamento de Informática, E.U. de Informática. Universidad de Valladolid 40005-Segovia, Spain and
Dpto. de Didáctica de las CCSS y EE, E.U. de Magisterio. Universidad de Valladolid 40001-Segovia, Spain*

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

Email: mlopez@dce.uva.es

Resumen

Este artículo tiene como objetivo presentar una propuesta de mejora del proceso de aprendizaje a través del empleo del formalismo cualitativo. Esta alternativa sugiere una primera aproximación al dominio de conocimiento que nos ocupa (sistemas físicos) que permita capturar de forma intuitiva los conceptos más importantes. Esta metodología se caracteriza por aprovechar la proximidad entre el vocabulario conceptual que provee el formalismo cualitativo y el empleado por los seres humanos en sus procesos cognitivos. De esta forma se consigue dotar al alumno de un nuevo lenguaje más apropiado para formalizar el tipo de conocimiento que se requiere en esta primera etapa. Para ilustrar el potencial de esta propuesta frente a la estándar se presenta de forma comparativa el desarrollo del proceso de aprendizaje bajo ambos paradigmas.

Palabras clave: metodología pedagógica, razonamiento cualitativo, aprendizaje tutorado, modelado composicional, reusabilidad, learning objects.

Abstract

The main aim of this work is showing up how qualitative formalism allows an improvement in learning process. This alternative suggests a first approach that capture, in an intuitive way, the most important concepts of the knowledge domain under study.

This methodology takes advantage of the proximity between conceptual vocabulary used by qualitative formalism and cognitive processes of human beings. So, learner is provided then, by a new suitable language to formalize the kind of knowledge required by this first step. Qualitative proposal vs standard one is presented in order to show up the first one learning advantages.

Key words: pedagogical methodology, qualitative reasoning, guide learning, compositional modelling, reusability, learning objects.

I. INTRODUCCIÓN

Existen claras evidencias que relacionan el alarmante descenso de alumnos que cursan estudios superiores de carácter científico técnico y las dificultades de aprendizaje que entrañan estas materias [Bredeweg, Bert, Neumann, M. et al., 2004]. Entre las razones que se pueden esgrimir cabe destacar el gran esfuerzo que requiere el aprendizaje del formalismo matemático, lo que provoca en muchos casos que el problema a resolver quede en un segundo plano frente al manejo de esta herramienta conceptual. Según [Hidalgo et al., 2004 p.75-95] el fracaso de esta metodología estandar puede estar motivado además por un posible vínculo entre lo cognitivo y lo emocional, lo que explicaría la fuerte animadversión que presentan la mayoría de los estudiantes hacia este formalismo. Sin embargo estos problemas de aprendizaje pueden ser superados si a dichos estudiantes se les provee de una comprensión causal previa de los procesos que tienen lugar en el sistema bajo estudio [Bredeweg, B. and Forbus, K. 2003 p.35]. Para lograr este primer hito es necesario que el formalismo empleado durante el proceso de aprendizaje disponga de una representación próxima a la empleada en los procesos cognitivos humanos. Este formalismo es el cualitativo ya que introduce el concepto discreto de estado como una descripción de las características del sistema en una situación dada. A partir de este concepto la idea de comportamiento dinámico de un sistema surge de forma natural como una sucesión temporal de dichos estados. Estos conceptos están implícitos en la forma en que los seres humanos expresamos nuestros procesos cognitivos mediante el lenguaje natural [Kuehne, S.E. and Forbus, K. 2004 p.25], [Bredeweg, B. and Forbus, K. 2003 p.35].

El proceso de aprendizaje definido de esta forma implicaría un análisis previo del sistema a través del formalismo cualitativo para a continuación abordar su solución a través del formalismo matemático. La primera aproximación al problema conllevaría:

- En primer lugar, el desarrollo por parte de los profesores de unidades de conocimiento consistentes en los distintos modelos y sus simulaciones. Este primer paso implica conocimiento experto y por tanto el profesor debe trasladar al nuevo lenguaje una descripción detallada del sistema a varios niveles: estructural, de relación entre las propiedades que definen los objetos que conforman el sistema, etc...
- En segundo lugar la elaboración de un guión que acompañe al material descrito anteriormente y que permita a los alumnos avanzar durante el proceso de aprendizaje. Este guión estará compuesto de varios apartados organizados según los objetivos didácticos. Cada uno de ellos contendrá una introducción y un conjunto de preguntas guía que permitan la reflexión

y la discusión sobre los aspectos más importantes.

Este método, basado en la elaboración de trabajos tutorados [Bouwer, A. et *al.*, 2002 p.155], ha sido diseñado pensando en alumnos de secundaria.

Para poder ilustrar la propuesta se ha elegido un sistema físico lo suficientemente general para que permita mostrar la dinámica de aprendizaje a través de esta metodología.

Las ontologías cualitativas elegidas para el desarrollo conceptual de los modelos son la orientada a procesos (QPT) [Forbus, K. 1984 p.84] de la que se obtiene el vocabulario conceptual, y la basada en el modelado composicional [Falkenhainer et *al.*, 1991] de la que se obtiene el marco para poder trabajar con dicho vocabulario. Este marco provee de un entorno que permite por un lado organizar el conocimiento y por otro emplearlo de tal manera que permita la composición automática de modelos más complejos a partir de fragmentos más sencillos. Esta composicionalidad se basa en un adecuado diseño de los fragmentos de modelo que garantice su reusabilidad bajo distintos escenarios (learning objects).

Bajo este contexto la implementación de modelos, simulación e interpretación de los resultados se ha llevado a cabo a través de un conjunto de herramientas propias de este campo de investigación. Para la fase de modelado se ha utilizado la herramienta HOMER, un entorno de diseño que permite la construcción de modelos de una forma gráfica [Bessa Machado, V. and Bredeweg, B. 2003 p.39], [Bessa Machado, V. and Bredeweg, B. 2002 p.1], [Bessa Machado, V. and Bredeweg, B. 2001 p.98]. Los modelos así contruidos son los datos de entrada del motor de inferencia GARP¹ [Bredeweg, B. 1992]. A partir de los modelos y de la definición de un escenario inicial el motor genera todos los posibles comportamientos del sistema en forma de grafo (simulación), donde los nodos representan los estados en los que se puede encontrar el sistema y los arcos las posibles transiciones que se pueden dar entre ellos. Por último y para poder visualizar las simulaciones obtenidas se emplea la herramienta gráfica VISIGARP que facilita el proceso de inspección e interpretación [Bouwer, A. and Bredeweg, B. 2001 p.294].

II. EL PROBLEMA DEL APRENDIZAJE

El método pedagógico descrito anteriormente debe cumplir con las siguientes premisas básicas, ya que son imprescindibles para una adecuada articulación del proceso del aprendizaje: [Bredeweg, B. and Winkels, R. 1998 p.1]

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

- *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 abstracto tal que pueda representar varios fenómenos físicos aparentemente distintos.

A continuación se presenta como se afronta el proceso de modelado e inferencia a través de las metodologías estándar y cualitativa, y como sólo esta última garantiza las premisas antes expuestas.

A. Objetivos didácticos

A la hora de abordar el estudio de un sistema dinámico se dispone de dos marcos teóricos de actuación: causal y acausal. El primero tiene en cuenta el estudio del “¿por qué?” mientras que el segundo se preocupa del “¿cómo?”.

En Física estos enfoques dan lugar a la representación dinámica y cinemática respectivamente. Este constituiría un primer objetivo didáctico: la distinción entre las dos aproximaciones.

Además el sistema a estudiar debe poseer las siguientes características: debe ser suficientemente simple para el nivel educativo de los alumnos que aquí se presentan pero no trivial, de forma que éstos puedan obtener del mismo información relevante. Además nuestro sistema físico debería ser lo más general posible de manera que englobe la mayor cantidad de fenómenos físicos posibles lo que haría de él un sistema claramente “reusable” desde un punto de vista conceptual.

III. “EL OSCILADOR ARMÓNICO SIMPLE”

Como sistema a estudiar se ha elegido “el oscilador armónico simple” 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 no son especialmente difíciles y complejas, no son triviales.

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

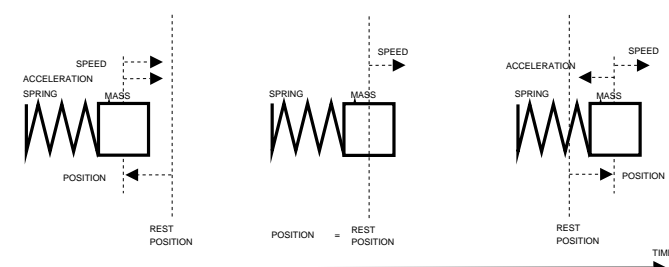


Figura 1: Comportamiento del muelle

Un primer análisis permite determinar cuáles son las magnitudes relevantes que definen el comportamiento del sistema físico. Como puede apreciarse en la (fig 1) las magnitudes cinemáticas muestran el comportamiento sin preguntar el porqué (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.

A. Lenguaje matemático típico

El método estandar implica la resolución de las ecuaciones diferenciales ordinarias que se derivan del análisis anterior. En la (fig 1) se puede apreciar como la fuerza de restauración del muelle desplaza a la masa hacia la derecha. En términos matemáticos esto se escribe:

$$F \equiv m \cdot a = -K \cdot x \quad (1)$$

que escrito en el lenguaje de las EDO's y utilizando la notación estandar para la derivada temporal

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt}$$

nos proporciona la ecuación diferencial ordinaria para el Oscilador Armónico Simple

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

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

Llegados a este punto, disponemos dos opciones docentes:

1. Proporcionar a los estudiantes la solución $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$ para que ellos comprueben en la ecuación (2) 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 (2). En el segundo debemos dotarles de las técnicas matemáticas al uso lo que para ellos no es fácil.

B. 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.

Esto supone traducir la percepción que se tiene del sistema al lenguaje cualitativo, usando para ello las herramientas de modelado e interpretación HOMER y VISIGARP [Alvarez-Bravo, J. V. 2005].

La construcción de un modelo a través de la herramienta HOMER comienza con la definición de las entidades que representan los objetos físicos del sistema. A continuación se describen las propiedades (variables) asociadas a cada objeto y que definen que aspectos del objeto están sujetos a posibles cambios con el tiempo. Por último se establecen los espacios de medida para cada variable. Estos espacios definen el conjunto de valores cualitativos que una variable puede tomar.

La parte cualitativa del modelo emerge de manera natural a través de las dependencias de tipo causal (proporcionalidades, influencias, correspondencias) y de desigualdad que se pueden establecer entre las variables anteriormente descritas.

1. El modelo cualitativo

El primer paso implica una descripción de las relaciones estructurales entre las entidades que componen el problema. En el caso que nos ocupa se dispone de una masa conectada a un muelle que se ve deformado por una fuerza externa. Este escenario da lugar a la aparición de un proceso dinámico (movimiento) en el que tanto la masa como el muelle se verán afectados a través de sus

variables asociadas. (fig 2). Una vez las relaciones estructurales han sido establecidas, el siguiente paso consiste en la definición de las magnitudes relevantes que caracterizan a cada entidad, como se muestra en la (fig 3)



Figura 2: Representación cualitativa

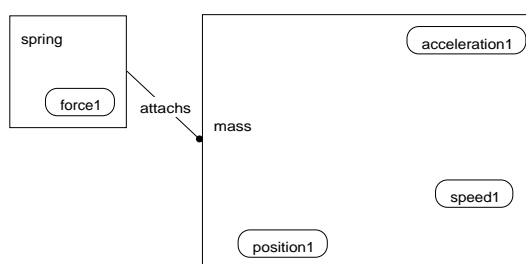


Figura 3: Magnitudes cualitativas relevantes

La variable asociada a la interacción será aquella que deforma el muelle (fig 2) y que se denominará, de manera obvia, como fuerza externa. Sin embargo, esta no aparece explícitamente en el modelo (fig 4) ya que la entidad "interacción" sólo existe para dotar de causalidad al comportamiento cinemático del muelle. Las propiedades de la masa conectada al muelle serán: la posición medida con respecto de la posición de equilibrio (landmark), su velocidad y el cambio de la misma (aceleración). Finalmente, el muelle quedará completamente descrito por la fuerza de restauración, que vendrá dada por la ley de Hooke.

En la (fig 4) se presentan las dependencias entre las variables descritas. Como se puede apreciar 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 via 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).

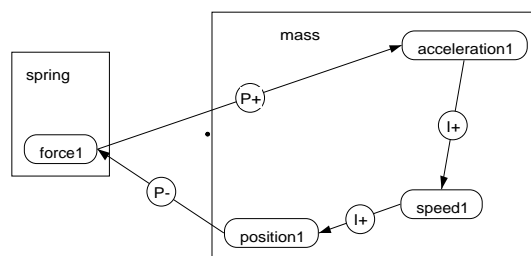


Figura 4: Dependencias entre cantidades cualitativas

2. Espacios de medida

Es fundamental describir de manera correcta los espacios de medida asociados a las magnitudes de forma que se pueda abordar de manera correcta tanto el proceso de modelado como la interpretación de los procesos físicos que tienen lugar. El número de landmarks (valores de referencia) y de intervalos dan una idea sobre la información que se está introduciendo dentro del modelo cualitativo. En el caso que nos ocupa se ha elegido un único landmark, la posición de equilibrio, a la que se ha denominado 'zero' y dos intervalos abiertos (min y plus) que representan, junto con el cero, la recta de los números reales (cuanto más negativa sea la cantidad más pequeña será esta y viceversa). Obviamente la deformación del muelle tiene un límite físico dado por la elasticidad del mismo y, por lo tanto, también lo tendrán la velocidad y la aceleración. Debido a las relaciones de proporcionalidad también la fuerza restauradora tendrá un límite, así que cabe preguntarse

¿por qué no hemos introducido estas restricciones tan obvias dentro de nuestros espacios de medida por medio de los correspondientes landmarks?

La respuesta a esta pregunta no es tan obvia como pueda parecer pero muestra por qué el modelado cualitativo captura la esencia del comportamiento físico buscado.

El comportamiento del muelle, esto es, el comportamiento oscilatorio, **no depende** de estas restricciones energéticas sino que depende únicamente de la cinemática y la dinámica del muelle. Es por esto que no es necesario complicar los espacios de medida introduciendo más landmarks si lo único que se quiere simular es el comportamiento oscilatorio no amortiguado.

Debido a que los espacios de medida de las distintas variables no están relacionados entre sí, es necesario establecer todas aquellas correspondencias entre espacios que sean necesarias. En el caso del muelle las correspondencias que se establecen tienen en consideración los vínculos entre los valores landmarks de las variables (fig 5).

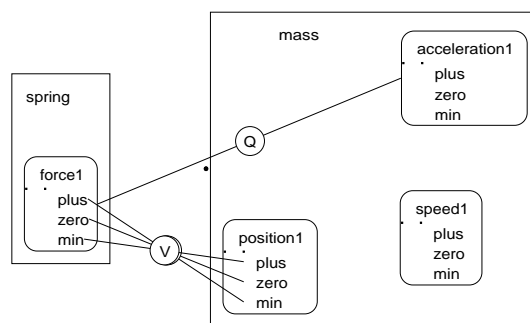


Figura 5: Espacios de medida y sus correspondencias

3. Resultados de la simulación: significado físico

Una vez se dispone del modelo y del escenario inicial, se puede obtener la simulación a través del motor de inferencia GARP. En el caso que nos ocupa el grafo de comportamiento obtenido es cíclico (fig 6) como cabría esperar para este sistema.

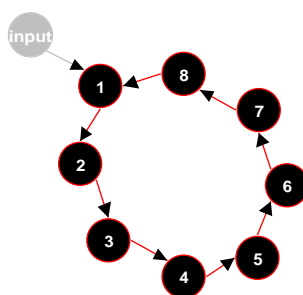


Figura 6: Transiciones entre estados

Este primer resultado es muy útil desde un punto de vista pedagógico ya que ofrece una idea a los estudiantes de que, dada su estructura, el fenómeno físico se repite en el tiempo.

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

- En la (fig 7) 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

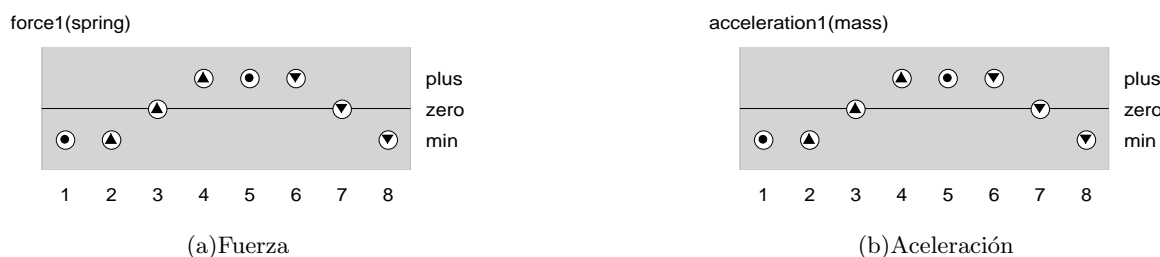


Figura 7: Ley de Newton

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 continúa 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).

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 presenta un comportamiento oscilatorio no amortiguado centrado en la posición de equilibrio.

4. Cuestiones para el aprendizaje tutorado

Como parte fundamental de la metodología docente que se propone está la elaboración del conjunto de cuestiones guía sobre el comportamiento del sistema. Como ya se apuntó éstas

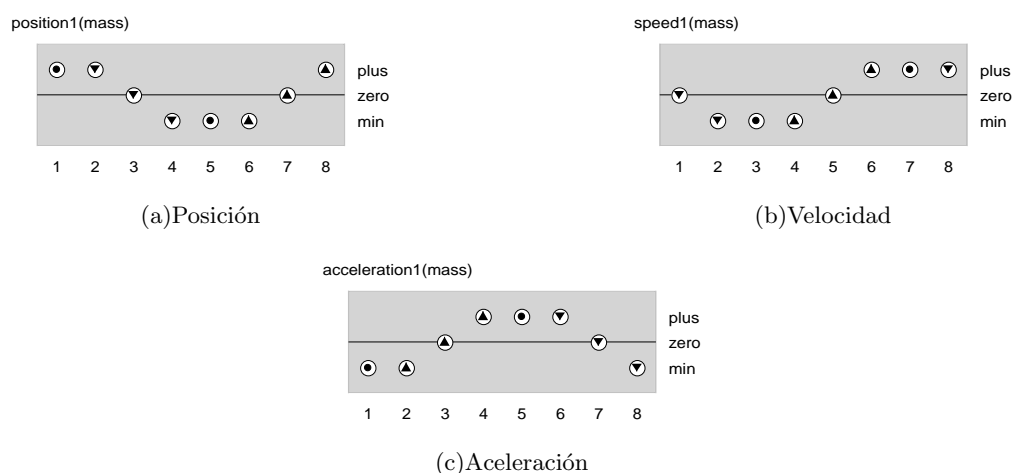


Figura 8: Magnitudes cinemáticas

cuestiones deben extraer los aspectos más importantes y deben favorecer la reflexión y la discusión de los mismos. A modo de ejemplo se presentan las siguientes:

- ¿Cuáles son las magnitudes cinemáticas relevantes?

Es trivial para el estudiante identificarlas en la (fig 3).

- ¿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 4) la aceleración y la fuerza están relacionadas por una proporcionalidad positiva, esto es, si una aumenta la otra aumenta al mismo tiempo y viceversa como puede apreciarse en la (fig 7)

- ¿Cómo están relacionadas la variable cinemática *posición* y la dinámica *fuerza de restauración* y por qué?

En la (fig 4) 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 8), 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.

- ¿Cuándo alcanza la fuerza de restauración su valor máximo?

Se puede ver fácilmente (fig 7(a)) que en los estados uno y ocho la fuerza de restauración no cambia. Esto sucede porque cuando el muelle está maximamente comprimido o estirado, la fuerza de restauración alcanza también su valor máximo.

- ¿Cómo están descritos los espacios de medida y por qué?

Los espacios de medida son los mismos, en este caso, para todas las cantidades relevantes del problema (fig 5) de forma que describan de manera correcta el comportamiento del muelle. Cuanto más simples sean más información obtendremos sobre el comportamiento genérico de nuestro sistema físico. Esta es la razón por la que los espacios de medida son dos intervalos abiertos separados por un único landmark, el cero.

- ¿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 6), 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.

IV. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En este trabajo se presenta, por medio de un ejemplo, cómo mejorar el aprendizaje de sistemas complejos como son los sistemas físicos dinámicos. La metodología parte de la captura de información sobre el sistema objeto de estudio a través de una eficiente tutorización del estudiante. El marco de trabajo dado por (HOMER, VISIGARP) permite a los profesores y a los estudiantes, por medio de los elementos de este formalismo, una mayor comprensión de los conceptos abstractos. A modo de ejemplo se estudia el comportamiento oscilatorio de un muelle sin pérdidas de energía. Sus características principales se capturan por medio del

formalismo cualitativo emergiendo durante este proceso las dos posibles formas de atacar el problema, la acausal o cinemática y la causal o dinámica. En este sentido se presentan las leyes de Hooke y de Newton de una forma más intuitiva usando una representación gráfica que conecta éstas con las variables cinemáticas via proporcionalidades cualitativas. Las relaciones entre las variables cinemáticas también se presentan de una forma gráfica mostrando como éstas dotan al sistema de una evolución temporal. Finalmente se proponen un conjunto de preguntas dirigidas a fijar los conocimientos adquiridos sobre los aspectos relevantes del sistema físico descrito.

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.

Agradecimientos

Queremos agradecer desde aquí al profesor Bert Bredeweg de la Universidad de Amsterdam sus sugerencias y correcciones.

Así mismo, J. V. Álvarez-Bravo y J.J. Álvarez-Sánchez también quieren agradecer a MONET (European Network of Excellence in MBS & QR) la ayuda económica con la que les fue posible visitar la Universidad de Amsterdam.

Fecha de cierre de la redacción del artículo: mayo de 2005

Álvarez-Sánchez, Juan J.; Álvarez-Bravo, José V.;
González-Cabrera, Francisco J.; López-Luengo, M. Antonia;
Salamanca-Escorial, Belén. (2005).
Aproximación Cualitativa a la docencia de conceptos físicos.
RED. Revista de Educación a Distancia, número monográfico IV.
Disponible en <http://www.um.es/ead/red/M4>

- [1] Álvarez-Bravo, J. V. 2005. *El formalismo cualitativo: como abordar la comprensión de un problema de una forma intuitiva*, <http://www.infor.uva.es/jvalvarez/seminario.pdf>.
- [2] Bessa Machado, V. and Bredeweg, B. 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.
- [3] Bessa Machado, V. and Bredeweg, B. 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.
- [4] Bessa Machado, V. and Bredeweg, B. 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.
- [5] Bouwer A. and Bredeweg, B. 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] Bouwer, A.; Bessa Machado V.; Bredeweg, B. 2002. *Interactive Model building Enviroments, 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..
- [7] Bredeweg, B.; Neumann, M.; Nuttle, T.; Russell, I.; Thomas J. and Wotawa, F. *Education and Training Technological Roadmap v 1.2, Deliverable ED4*
- [8] Bredeweg, B. and Forbus, K. 2003. *Qualitative Modeling in Education. AI Magazine, Volume 24, Number 4*, pages 35-46.
- [9] Bredeweg, B. 1992. *Expertise in Qualitative Prediction of Behaviour. Ph.D. thesis, University of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands.*
- [10] Bredeweg B. and Winkels, R. 1998. *Qualitative models in Interactive Learning Enviroments: an Introduction. Interactive Learning Environments, Volume 5, Number 1-2*, pages 1-18.
- [11] Falkenhainer, B. and Forbus, K. 1991. *Compositional modeling: finding the right model for the job, Artificial Intelligence, vol 51*, pp. 95-143..

- [12] Forbus, K. 1984. *Qualitative Process Theory*, *Artificial Intelligence*, vol 24, pp. 84-168..
- [13] Hidalgo, S.; Maroto, A. and Palacios, A. 2004. *¿Por qué se rechazan las matemáticas?. Análisis evolutivo y multivariante de actitudes relevantes hacia las matemáticas*, *Revista de Educación, Ministerio de Educación y Ciencia, Temas actuales de enseñanza núm 334*, pp. 75-95..
- [14] Kuehne, S. E. and Forbus, K. 2004. *Capturing QP-relevant information from natural language text* *Proceedings of the 18th International workshop on Qualitative Reasoning, QR'04*, J. De Kleer and K. Forbus (eds), pages 203-208, Evanston, USA, August 2-4.