

UN ENFOQUE DIDÁCTICO-COGNITIVO DEL ANÁLISIS DE LOS CONCEPTOS DE LOS SISTEMAS DE UN GRADO DE LIBERTAD

Ana Lilia Laureano-Cruces

Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco

Departamento de Sistemas

Amador Terán-Gilmore

Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco

Departamento de Materiales

Fernando de Arriaga

Universidad Politécnica de Madrid, España

UN ENFOQUE DIDÁCTICO-COGNITIVO DEL ANÁLISIS DE LOS CONCEPTOS DE LOS SISTEMAS DE UN GRADO DE LIBERTAD

RESUMEN

Dentro de los problemas que se presentan en el proceso de enseñanza-aprendizaje se encuentra el de ayudar a la adquisición de habilidades cognitivas. Interesa que el alumno controle su propio proceso de aprendizaje y el modo en el que lo realiza. Dicho en otras palabras, es importante que regule cómo y cuándo utilizar una estrategia cognitiva como parte del aprendizaje de un dominio. Para lograr lo anterior uno de los grandes cambios producidos en la educación es utilizar herramientas provenientes de la psicología cognitiva para mejorar el diseño de los "currícula" de asignaturas, así como de temas específicos, dentro de un dominio determinado del conocimiento, y prueba de ello son los modelos propuestos por Castañeda y Estevéz. En este trabajo se presenta un modelo de aprendizaje para un tema específico utilizando el enfoque cognitivo de los esquemas o modelos mentales basados parcialmente en este caso en los conceptos de la teoría cualitativa de Forbus; en cuanto al enfoque pedagógico, se toma en consideración la experiencia de los autores y se la sitúa dentro del enfoque actual de la enseñanza centrada en el estudiante, en el que los sistemas de ayuda al aprendizaje de tipo entrenador adquieren verdadera importancia. Todo ello se integra con el fin de proponer un marco de desarrollo para un sistema inteligente de aprendizaje que permita comprender primero la parte cualitativa antes de entrar a la parte cuantitativa. El dominio elegido es un tema específico de dinámica de estructuras conocido como los sistemas de un grado de libertad (S1GL).

Palabras clave: Didactic Approach, Degree of Freedom, Systems, teaching and learning

A DIDACTIC-COGNITIVE APPROACH OF THE ONE FREEDOM DEGREE SYSTEMS CONCEPT ANALYSIS

ABSTRACT

Inside the different problems faced in the teaching-learning process we find the one of helping to acquire cognitive abilities. The aim is that the student is able to control his own learning process and the way he develops it. In other words, it is important that he regulates how and when a cognitive strategy needs to be used as a way of learning a dominion or rule. To achieve this, one of the biggest changes produced by the education is to use the cognitive psychology's tools to improve the design of assignments' curricula, as well as specific topics inside a determined knowledge dominion, and a proof of this are the Castañeda and Estevez models. In this paper a learning model for a specific topic using the cognitive approach of the mental schemes of models is presented, based partially on, in this case, the concepts of Forbus' qualitative theory; for the pedagogical approach, the experience of authors is taken into consideration and it is located inside the current teaching approach centered on the student, in which the helping learning systems of the coaching type acquire real importance. Everything gets integrated with the purpose of proposing the development frame for an intelligent learning system that allows qualitative side comprehension first before getting into the quantitative side. The elected dominion is a specific structured dynamic topic known as the one degree of freedom systems (1DFS).

Key Words: Didactic Approach, Degree of Freedom, Systems, teaching and learning

INTRODUCCIÓN

Hacia el cambio: óptica adoptada

De acuerdo a Estévez (2002) abordamos problemas profundos cuando nos preguntamos: 1) ¿los estudiantes están realmente aprendiendo? 2) ¿qué grado de aplicabilidad tiene el conocimiento adquirido dentro del entorno para el cual se están preparando?; 3) ¿son suficientes los conocimientos para continuar una educación superior?; y 4) debido al ritmo de desarrollo científico y tecnológico que conlleva la participación en el conocimiento de varias disciplinas, ¿cuándo queda obsoleto lo aprendido?

Y todavía hay muchas preguntas adicionales que podemos formular en relación con cualquier tipo de educación, pero fundamentalmente en la superior: 5) ¿cuál es el verdadero comportamiento del experto en estas cuestiones del dominio de aprendizaje?; 6) ¿cómo podríamos realizar la migración de los aprendices a expertos con robustez y en un plazo de tiempo mucho menor del actual?

Ante tal perspectiva pretendemos enriquecer el diseño didáctico con las ciencias cognitivas con el fin de incluir procesos de este tipo en la enseñanza y el aprendizaje mediante el diseño y el uso de estrategias cognitivas. Así, la propuesta de estos innovadores modelos se sustenta en: 1) una perspectiva multinodal (basado en diferentes fuentes teóricas), 2) un enfoque holístico e integral (conocimientos, habilidades, actitudes y valores); 3) privilegiar el empleo de estrategias cognitivas como medio para activar los procesos mentales necesarios para propiciar el aprendizaje; 4) utilización de los componentes cognitivos de la habilidad a adquirir incluyendo los propios modelos mentales del experto.

Conceptos introductorios

Diseño didáctico

Este diseño se refiere a la consideración del "currículo", definido en términos del proyecto global en el que está incluida la actividad concreta. Y en el caso de temas específicos, se refiere a lo que todo docente debe conocer sobre su material de enseñanza para propiciar su adquisición.

Así, el diseño didáctico se concibe como un cuerpo de conocimientos que se ocupa de: 1) la comprensión, el mejoramiento y la aplicación de métodos de enseñanza, 2) la combinación óptima de métodos, y 3) los contextos o situaciones en los que se espera que dichos métodos de enseñanza produzcan mejores resultados.

Al resultado de un diseño didáctico se le conoce como modelo y es éste la representación final de un conjunto integrado por componentes estratégicos que nos permitirá: 1) secuenciar el material, 2) utilizar grafos conceptuales, 3) utilizar ejemplos, 4) la incorporación de la práctica en un determinado momento, y 5) el uso de estrategias para motivar a los estudiantes.

Otro aspecto importante de este modelo didáctico es que debe mostrar los diferentes aspectos que entran en juego en la enseñanza, con el fin de alcanzar los objetivos deseados del mejor modo posible y bajo las condiciones anticipadas.

Esquemas o modelos mentales

En algunas áreas cognitivas es posible formular teorías de competencia, que especifiquen: qué tiene que ser calculado, cuándo, y por qué; y posteriormente, con base en estas teorías desarrollar un algoritmo que lo represente. A esta área de estudio se le conoce como la teoría de competencia y se realiza a través de

los esquemas mentales.

La parte esencial de los esquemas mentales radica en su característica funcional. Son definidos como abstracciones funcionales con respecto al trabajo o trabajos que proporcionan un marco deductivo, para la solución de problemas (Wilson, 1991), (Ryder y Reeding, 1993). Un esquema mental es distinto de otras formas de representación de conocimiento, como lo son las redes semánticas (Laureano, 1995) debido a que no cuentan con un mecanismo de interpretación para saber si una afirmación es o no verdadera.

Tal vez otra característica que dota de importancia a los modelos mentales es que, incluso en áreas cognitivas donde no ha sido posible elaborar teorías de la competencia, sería factible obtener (de Arriaga, El Alami y Ugena, 2001) familias de modelos mentales del experto humano que podrían ser utilizadas para la mejora del aprendizaje y justificación de inferencias que usualmente se sitúan en el terreno de la intuición.

El aspecto básico de esta doctrina radica en asumir que las mayorías de las inferencias realizadas diariamente dependen de conclusiones espontáneas y razonamientos que no siempre llevan a una conclusión válida.

Los esquemas mentales emergen como un intento de dar sentido a las inferencias, de forma implícita y explícita. Johnson-Laird mencionado en Wild (1996) argumenta que un esquema mental permite explicitar aquellos objetos o entidades, así como propiedades y relaciones, que son relevantes para potenciar las acciones. De esta forma, cada entidad es representada por las propiedades de sus componentes. Las relaciones entre estas entidades están representadas por las relaciones entre estos componentes. Los esquemas mentales son importantes debido a que representan objetos, estados de asuntos, secuencias de eventos, la forma en que el mundo se encuentra y las acciones sociales y psicológicas de la vida diaria.

Existen dos grandes tipos de esquemas mentales los preceptuales y los conceptuales. En cuanto a los preceptuales como su nombre lo indica dependen de los sentidos de percepción humanos. Para estos esquemas mentales son importantes dos aspectos: la forma del mundo y la forma en como está el que lo percibe. En cuanto a los conceptuales representan aspectos abstractos. Ambos pueden reflejar: una posible situación, una situación imaginaria o una situación verdadera.

De acuerdo a Johnson-Laird (1988): a) un esquema mental, representa una posibilidad, que contiene lo que es común a diferentes caminos en que la posibilidad puede ocurrir. Los novatos no tienden a asumir que cada esquema mental es probable a menos que exista evidencia de lo contrario, b) los esquemas mentales representan de forma explícita aquello que es verdadero, pero no lo que es falso. Esta característica lleva a los razonadores novatos a cometer errores sistemáticos. La experiencia obtenida por de Arriaga (de Arriaga et al. 2001) es que los expertos humanos acotan perfectamente el funcionamiento de esos modelos mentales, y además disponen de elementos adicionales que les permite obtener lo falso, mientras que los aprendices ni poseen esos elementos adicionales ni acotan con especificidad los límites del modelo mental.

La naturaleza y características de estos modelos mentales fueron estudiadas por primera vez por Johnson-Laird (1988) y también por Gentner y Stevens (1983). De acuerdo con las ideas del primer autor los modelos mentales emergen como entidades teóricas de los intentos por dar sentido a las inferencias explícitas e implícitas del experto, en consecuencia, estos modelos mentales son distintos y se apoyan en los otros esquemas mentales o modelos generados también por otras disciplinas como la sintaxis, semántica, etc., e incluso se apoyan también en los modelos elaborados por la propia base científica del experto humano, constituyendo todo un entramado que permite al experto pensar en el problema, analizarlo, tomar decisiones y posiblemente resolverlo.

Los modelos mentales se construyen a partir de ítems o elementos conceptuales que se relacionan entre sí mediante cualquier estructura a fin de representar total o parcialmente un escenario real, concreto

y específico. Estos ítems representan los conceptos finales y sus relaciones que el experto utiliza en el diagnóstico y toma de decisiones.

Dado que los modelos mentales sirven a propósitos muy variados, adoptan representaciones también muy diversas; a veces contienen sólo ítems que representan individualidades y relaciones muy simples entre ellas como ocurre con los modelos requeridos para el razonamiento silogístico. Estas relaciones pueden ser causales, temporales, cualitativas o cuantitativas, sencillas o complejas. En definitiva, estas relaciones reflejan la estructura percibida o concebida del mundo sin incluir "conocimiento inerte" sino solo elementos para trabajar conceptualmente con todos ellos.

Un modelo mental necesita un mecanismo para su revisión de forma recursiva y hacer uso de conectores lógicos u operadores de conexión (conjunciones y disyunciones) que permitan determinar la existencia o no de un elemento y poder concluir la existencia o no de las relaciones a las que pertenecen dichos elementos. El uso de las disyunciones debe utilizarse siempre y cuando las condiciones de verdadero sean elementales, para evitar las explosiones combinatorias.

Jonshon-Laird (1983) propone 5 restricciones para los posibles esquemas mentales:

1. El principio de computabilidad: los esquemas mentales y los mecanismos para su construcción e interpretación deben ser computables.
2. El principio de ser finito: un esquema mental debe ser finito en tamaño y no puede representar de forma directa un dominio infinito.
3. El principio del constructivismo: un esquema mental está construido con base a un conjunto de elementos que tienen un arreglo en una estructura, y que representan un estado de asuntos.
4. El principio de economía de modelos: la descripción de un solo estado de asuntos es representada por un solo esquema mental, aún cuando la descripción sea incompleta o indeterminada.
5. Los esquemas mentales pueden representar situaciones no determinísticas, sí y sólo si, su uso no es computacionalmente intratable; como un crecimiento exponencial de combinaciones.

En el caso de estudio el producto será un modelo cualitativo cognitivo basado en los distintos tipos de razonamiento propuesto por Forbus (1984) para procesos dinámicos.

Uno de los objetivos es encontrar relaciones entre los modelos cualitativos y las explicaciones causales, que permiten al estudiante involucrarse con distintas estrategias de aprendizaje como son: explorar, solicitar demostraciones tutoriales, y/o explicaciones, y/o resolución de problemas. Estas relaciones nos permitirán manejar los distintos razonamientos con el fin de abordar los distintos escenarios creados para el aprendizaje de los conceptos involucrados en la teoría de los S1GL (desde el punto de vista cualitativo).

A menudo, los modelos mentales se integran en familias de complejidad creciente que representan determinados aspectos o soluciones de un problema concreto. El experto humano se mueve a lo largo de estas familias para escoger el modelo de complejidad mínima que es capaz de tener en cuenta y posiblemente resolver todas las peculiaridades del problema en cuestión. El aprendiz, en cambio, suele disponer de un solo modelo mental o de unos pocos, a veces con gran complejidad de manera que no es capaz de analizar y menos aun de llegar a solucionar el problema.

Otra cuestión importante en relación con los modelos mentales del experto tiene que ver con las técnicas para su obtención; en líneas generales diremos que son aplicables las técnicas conocidas de elicitación del conocimiento. En nuestro caso, además disponemos de una herramienta que hemos denominado BCTA

(Behavioral-cognitive task analysis) (El Alami 1998, de Arriaga et al. 2001) basado en la consideración cíclica de la ejecución de la tarea con niveles crecientes de experiencia y eficiencia.

Diseño cognitivo

Se define a las ciencias cognitivas como aquéllas que estudian la mente humana desde la perspectiva de un sistema que: recibe, almacena, recupera, transforma y transmite información con el fin de aprender y solucionar problemas.

Las ciencias cognitivas tienen su inicio a mediados de la década de los 50s, surgen como un intento de converger los intereses comunes de: psicólogos cognitivos, investigadores en inteligencia artificial, lingüistas y filósofos. Con el fin de comprender el funcionamiento de la mente humana, cuyo paradigma es: el análisis de la mente humana en términos del procesamiento de la información.

De acuerdo a Estévez uno de los principales conceptos que ha venido a revolucionar la inclusión de las ciencias cognitivas en el desarrollo de modelos didácticos es la concepción del conocimiento como representación interna que se construye y organiza en estructuras internas llamadas esquemas o modelos mentales (Wild, 1996), (Elio y Scharf, 1990), (Johnson-Laird, 1983), (Laureano y de Arriaga, 1998).

Los esquemas mentales permiten conocer los diferentes estados que hacen posible la madurez de la experticia y la diferencia de comportamiento entre novatos y expertos en la solución de problemas utilizando diferentes estrategias para llegar a la solución. De aquí que sean un elemento a considerar cuando se desarrollan sistemas de software que conlleven el uso de técnicas de inteligencia artificial como son: los sistemas de aprendizaje inteligentes y los sistemas expertos, entre otros.

Debido a la apreciación anterior se da lugar al nacimiento de dos áreas de investigación que son: la instrucción de los procesos cognitivos y la didáctica de los procesos; cuyo objetivo común es: utilizar el conocimiento acumulado sobre los procesos y mecanismos del pensamiento para ayudar a las personas a mejorar sus habilidades de aprendizaje y sus estrategias cognitivas.

Así la enseñanza se concibe como un proceso dinámico y flexible, acompañado por etapas de reflexión y de planificación que permiten utilizar la experiencia del maestro, los conocimientos existentes y los resultados de las investigaciones en el área.

El aprendizaje

En la siguiente sección se dará un breve resumen de los conceptos tratados sobre el aprendizaje por Estévez (2002). Uno de los puntos más importantes en esta propuesta es que no se deja de lado a los malos estudiantes. Ya que al conocer las estrategias cognitivas y los esquemas mentales de un determinado tema, es posible anticipar los errores de tal suerte que es posible reorientarlos dentro del modelo didáctico previsto.

Con respecto al aprendizaje existen tres afirmaciones revisadas por la Asociación para el Desarrollo y Supervisión del Currículum en Estados Unidos (Estévez, 2002).

1. El aprendizaje está orientado por dos tipos de propósito: a) tipo específico, que se refiere a la comprensión de un contenido o conocimiento particular, y b) de carácter general, que se refiere a la autorregulación del aprendizaje (Laureano, de Arriaga y Ramírez, 2002).
2. El aprendizaje consiste en establecer relaciones entre información nueva y conocimiento

previo. Una propuesta de las ciencias cognitivas es que la información se almacena en la memoria en forma de esquemas mentales (representación interna acerca de una idea, tema u objeto).

3. El aprendizaje conlleva organizar el conocimiento o la información en un patrón, esto es, con un orden identificable de ideas o de información. Y esto es de vital importancia cuando se trata de aprender.

Con respecto al punto uno se rescata la visión de que el estudiante construya significados y aprenda de forma independiente. Dicho en otras palabras, el aprendizaje es una reestructuración interna del conocimiento y es una respuesta a la información o a los estímulos externos que se proporcionan.

Con respecto al punto dos se enfatiza la óptica de los esquemas mentales como información fuertemente interrelacionada que cuenta con ciertas propiedades que permite al estudiante utilizarlos en una variedad de actividades cognitivas complejas y planificadas (inferencias y evaluaciones). Y en lo extremadamente importante que es el conocimiento previo a un tema específico. Por ejemplo, la falta de información acerca de un tema puede: limitar seriamente la capacidad para reconocer patrones o modelos, clasificar información, generar analogías y relacionar problemas o situaciones.

Con respecto al punto tres se inciden en el hecho experimental de que un experto tiene esquemas mentales mejor organizados e integrados que las de los novatos. Dicho en otras palabras los novatos tienden a describir el conocimiento que poseen como información desvinculada y cuando intentan adquirir nueva información la añaden a sus esquemas sin una exitosa correlación. En cambio los expertos son capaces de integrar y reestructurar al cambiar conceptos y relacionar lo viejo con lo nuevo.

Funciones de los esquemas mentales

Otro punto importante en el aspecto didáctico que nos ocupa con respecto a los esquemas mentales es que éstos tienen funciones esenciales como: percepción (entrada de información), aprendizaje, comprensión (procesamiento de la información) y recuerdo (de lo aprendido). Estas funciones son válidas tanto para las experiencias de la vida como para la educación formal.

La ciencia cognitiva define a la percepción como un proceso activo, constructivo, selectivo y guiado por esquemas. Esta noción es importante debido a que la construcción de significados es esencial para el aprendizaje. La conclusión es que si no existe una riqueza de esquemas, la percepción será pobre y en consecuencia no se generará el aprendizaje deseado.

Con respecto a la comprensión ésta es importante por el hecho de que se debe construir un puente entre lo nuevo y lo viejo (a través de la percepción). De tal suerte que la mente sea capaz de acomodar o incorporar la información nueva a los esquemas existentes.

Finalmente el recuerdo se refiere a la tendencia de recordar material o información previamente aprendida. Esto es, los esquemas mentales nos permiten buscar en la memoria de forma ordenada y consistente las abstracciones en vez de recordar hechos aislados.

Además de todo eso, y como ya mencionamos anteriormente, los esquemas o modelos mentales pueden permitir la toma de decisiones e incluso la solución del problema que se analiza y facilitan la transferencia de expertos a novatos si el entrenamiento reiterado de éstos conduce a una más rápida adquisición de estos modelos mentales (de Arriaga et al. 2001).

Diferentes tipos de conocimiento y entornos de adquisición

Ahora daremos una definición de los distintos tipos de conocimiento que existen ya que dependiendo del tipo de éstos, se utilizarán diferentes herramientas para obtener el aspecto cognitivo en el diseño didáctico, así como los esquemas mentales sobre los cuales ensamblar el proceso de aprendizaje.

El conocimiento factual este tipo de conocimiento se refiere básicamente a hechos que no guardan relación con un uso especializado para un caso particular, es como decir América fue descubierta por Cristóbal Colón, esta frase representa un hecho concreto y aislado.

El conocimiento declarativo es el conocimiento factual que adquiere significado al ser interpretado dentro de un contexto específico. Este conocimiento se refiere al qué del aprendizaje y suele ser de tipo cualitativo.

El conocimiento procedimental se refiere básicamente al conocimiento que subyace al desarrollo de una tarea y está directamente relacionado con las reglas de producción consideradas por los investigadores como una representación que capta lo esencial del proceso humano con su mecanismo cíclico de válida-actúa (si-entonces). Este conocimiento se refiere al cómo del aprendizaje.

El conocimiento cualitativo específico (para distinguirlo del conocimiento declarativo que en una buena parte también es cualitativo), es el conocimiento que subyace en la habilidad de los humanos para simular y razonar con respecto a procesos dinámicos cuantitativos de manera mental. Este conocimiento se refiere al cuándo y por qué del aprendizaje.

El conocimiento estratégico es el conocimiento que permite la toma de decisiones a largo plazo. Frecuentemente aparece asociado a metodologías y ligado al qué hay que hacer para conseguir un objetivo de la vida real, conceptual o de aprendizaje.

En último lugar por su complejidad aparecen los modelos mentales del experto humano, contruidos por éste a lo largo de su experiencia y que constituyen su activo fundamental y el fruto de su trabajo. Constituyen lo que podría calificarse como la pauta del comportamiento experto y, según nuestro punto de vista, juegan un papel trascendental para la adquisición rápida y robusta de la habilidad cognitiva objeto del aprendizaje.

En cuanto al procedimiento de adquisición de estos conocimientos, es bien conocido que el conocimiento declarativo, el táctico y una parte del estratégico se han venido adquiriendo en los centros educativos a través de los procesos tradicionales de enseñanza/aprendizaje basados mayoritariamente en la llamada lección magistral. Ese tipo de enseñanza ha sido calificado como centrado en el profesor, para distinguirlo de otros más actuales denominados centrados en el estudiante que se instrumenta de maneras diversas entre las que destacan los enfoques de la enseñanza por problemas y la enseñanza por proyectos. En este último tipo de aprendizaje (más que de enseñanza) el alumno adquiere la dirección completa de su proceso de aprendizaje pasando el profesor a la tarea de colaborador y consejero del proceso. Algunas universidades europeas han abordado, hace más de veinticinco años, con rotundo éxito este tipo de aprendizaje; en él, las ayudas computacionales concebidas como sistemas inteligentes de entrenamiento por problemas adquieren una importancia estratégica y también táctica para la buena marcha del proceso.

Los modelos mentales e incluso algunos componentes cognitivos de la habilidad a aprender necesitan de otros procedimientos para su adquisición. En nuestro caso, disponemos de la metodología BCTA (Behavioral-cognitive task analysis) anteriormente desarrollada (El Alami, 1998) (de Arriaga et al., 2001) con la que es posible obtener todos los componentes cognitivos, incluso los modelos mentales del experto, necesarios para la ejecución experta de una tarea o habilidad conceptual.

Los modelos cognitivos del aprendizaje

8-29

Son el resultado de un minucioso análisis para esclarecer los procesos de enseñanza-aprendizaje. Estos modelos han sido utilizados con éxito en el análisis: 1) del dominio (Laureano y de Arriaga, 2000), 2) para modelar conductas reactivas (Laureano, de Arriaga y García-Alegre 2001) y (Laureano y de Arriaga, 2000), 3) de la resolución de problemas para representar la forma en que el novato migra hacia la experticia (de Arriaga et al., 2001), Elio y Scharf (1990), 4) de un modelo integral que además de incluir el aprendizaje de habilidades cognitivas incluye las afectivas, motivacionales y sociales (Castañeda y Martínez, 1999), y 5) del diseño del currículo (Estevéz, 2002). El presente trabajo propone una metodología para crear estos modelos cognitivos enfocados al conocimiento cualitativo.

Un común denominador en estos modelos es el uso de esquemas mentales, clasificación de los diferentes tipos de conocimiento involucrado en la actividad a analizar, elaboración de tablas y grafos que nos permitan saber la secuenciación del material, así como los conocimientos previos y formas de evaluación entre otros. Estos mecanismos se encuentran detallados en: (Reeding, 1992), (Laureano y de Arriaga, 2000), (Laureano et al. 2001), (El Alami, de Arriaga y Ugena, 1997), (de Arriaga et al. 2001).

Una vez expuesta la importancia de las ciencias cognitivas así como de los principales conceptos. Pasaremos a comentar nuestro enfoque basado en conocimiento de tipo cualitativo, siguiendo en algunos puntos las pautas desarrolladas por Forbus (1984); debido a que el presente dominio (sistemas de un grado de libertad) se enmarca en este tipo de conocimiento.

Teoría de los procesos cualitativos

Forbus (1984) crea una teoría con respecto a los procesos dinámicos donde se da una definición: a) de los conceptos de esta teoría, b) de los diferentes tipos de razonamiento que pueden involucrarse en estos procesos, y c) las implicaciones de ellos con el razonamiento causal. Esta teoría organiza las teorías del dominio alrededor de procesos físicos. En el caso del dominio que nos ocupa S1GL (los sistemas de un grado de libertad) se desarrollaron marcos contextuales para los diferentes conceptos con escenas de procesos físicos.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMAF

Metodología para desarrollar los modelos mentales cualitativos

El modelo mental cualitativo diseñado está basado en un entorno elemental que recibe el nombre de marco y será implementado en un sistema de software representado por procesos dinámicos que permiten ensamblar el análisis cognitivo del proceso de enseñanza del experto guiado por los distintos tipos de razonamiento propuesto por Forbus (1984).

En el caso del dominio que nos ocupa se desarrollaron marcos contextuales para los diferentes conceptos con escenas de procesos físicos: como personajes que caminan por un bosque y descubren propiedades necesarias para la comprensión de los conceptos involucrados en la teoría. En otros casos se presenta un laboratorio virtual que permite al estudiante manipular las magnitudes de los diferentes parámetros asociados al dispositivo que representa el proceso dinámico; proporcionando de esta forma una respuesta inmediata en él (pantallas reactivas). En el caso de las pantallas reactivas el proceso está acotado por la ecuación de movimiento que permite tener dependencias funcionales (Forbus, 1984).

Así de esta forma podemos concebir interfaces bien definidas entre diferentes procesos o inclusive entre

diferentes clases de representación utilizadas como precondiciones que ayudan a determinar cuándo un proceso o vista está activo.

De acuerdo a Forbus (1984) existen siete clases de razonamientos que puede involucrar un proceso dinámico y con base en ellos se pueden generar tareas de aprendizaje. Cada uno de ellos resuelve diferentes clases de problemas permitiendo ensamblar diferentes estrategias de aprendizaje.

1. Actividad Definitoria: deducción de lo que sucede en un instante dado. Este razonamiento proporciona respuestas directas a preguntas como: ¿qué es lo que sucede aquí? Además, también puede funcionar como operación básica para los otros tipos de razonamiento.
2. Predicción: predecir que sucederá a partir de información incompleta en un posible futuro. El ser humano frecuentemente trabaja con información incompleta, de aquí se presenta la posibilidad de generar diferentes futuros.
3. Postdicción: con base en una situación actual concreta explicar como se ha llegado a ella. La postdicción es considerada como un tipo de razonamiento no deductivo y mucho más difícil de considerar. Debido precisamente a la dificultad para encadenar los hechos hacia atrás con información incompleta. Este tipo de razonamiento tiene dos fases: 1) un conjunto de explicaciones posibles, y 2) construcción de explicaciones; donde se escoge la mejor. Así, por ejemplo, si encuentras el patio de tu casa mojado una causa puede ser que llovió. Sin embargo, si el día está soleado entonces tal vez fue mojado por alguna persona. Existe toda una teoría de estudio al respecto, dentro de la literatura también se le conoce como lógica abductiva (Aliseda-Llera, 1997).
4. Análisis Escéptico: determinar la consistencia de una descripción con respecto a una situación física. Un ejemplo es evaluar la propuesta de una máquina de movimiento perpetuo, con respecto a los datos del mundo real.
5. Interpretación cuantitativa: dada la descripción parcial de las particularidades de una situación y algunas observaciones de su comportamiento, inferir que otras particularidades existen y que más puede suceder.
6. Planeación experimental: dado un conocimiento de lo que puede observarse y manipularse, planificar acciones que conlleven a la obtención de mayor información de la situación.
7. Razonamiento causal: causa-efecto. Este tipo de razonamiento es una herramienta para dar crédito a una hipótesis que proviene de un comportamiento observado o postulado. Es útil para la generación de: explicaciones, interpretación de medidas, planificación de experimentos y obviamente aprendizaje.

Los sistemas de un grado de libertad y su importancia

El modelo formal de la habilidad conceptual que hay que adquirir en el ejemplo que constituye el objeto de este trabajo específico, está constituido por un sistema de un grado de libertad.

Los sistemas llamados de un grado de libertad son abstracciones de problemas reales, muy conocidas en diversos dominios de la ciencia y de la tecnología, que se caracterizan por conducir a una representación matemática del problema basada en una ecuación diferencial de segundo orden, frecuentemente con coeficientes constantes. Su nombre alude a la existencia de otros sistemas de varios grados de libertad que son extensiones del de un grado, por lo que éste ocupa un lugar básico en la jerarquía de estas abstracciones.

Los sistemas de un grado de libertad, por su número y utilización práctica, constituyen, sin ningún género de duda, el modelo más utilizado por toda la ciencia, posiblemente porque consigue un equilibrio entre un número de aspectos del problema que hay que tener en cuenta para su solución porque son los que más afectan a la solución del problema, la complejidad del proceso de obtención de ésta, y el grado de bondad de los resultados obtenidos.

Sin pretender incluir una lista exhaustiva de los dominios del conocimiento que utilizan esta abstracción cabe dar algunos ejemplos de campos muy distantes entre sí que utilizan con éxito este formalismo. Así, por ejemplo, son muy conocidos dentro de la dinámica de estructuras (dominio en el que se encuentra nuestro caso concreto), en la dinámica del sólido rígido y en otros muchos problemas dinámicos de la física como en la teoría de circuitos, en hidráulica e hidrología. También aparece en problemas estáticos como en la flexión de vigas.

Desde otro punto de vista, ese formalismo viene también asociado a los sistemas llamados Sturm-Liouville o problema de contorno cuya solución no trivial precisa de la obtención de unas constantes características llamadas autovalores. Estos sistemas están asociados a problemas tanto dinámicos como estáticos: entre los primeros aparece el problema de la cuerda vibrante y de los tubos sonoros; entre los segundos hay que mencionar el problema del pandeo o estabilidad de columnas y otros muchos problemas de estabilidad estática. También numerosos problemas de control lo utilizan para obtener la solución de los mismos.

Además de la física y la tecnología otros muchos dominios del conocimiento utilizan este formalismo; así dentro de las ciencias económicas y sociales existen diversos modelos de crecimiento de poblaciones, de maximización del beneficio de empresas suponiendo fijos los precios, de aceleración de la producción simple y múltiple, existiendo también diversos modelos sencillos de simulación urbana que utilizan este formalismo. Hasta para describir de manera básica la evolución del combate entre dos bandos, Lanchester (1990) utilizó hace ya años dos ecuaciones diferenciales de primer orden que se combinan en una única ecuación diferencial de segundo orden.

Todos los problemas comentados en esta lista incompleta presentan la peculiaridad de considerar continua la variable independiente del proceso, sea espacial o temporal u otra cualquiera. Pero existe la posibilidad de discretizar ese proceso convirtiendo la ecuación diferencial de segundo orden en una ecuación en diferencias o de sistemas discretizados. Hasta aquí no tendría demasiada importancia este hecho que en principio sólo afectaría al modo de obtención de la solución del problema, si no fuera por la existencia de determinados lenguajes de programación, como DYNAMO y otros, que de acuerdo con la metodología de Forrester (1969) basada en la Dinámica General de Sistemas, permite analizar intuitivamente el problema y establecer a la vez tanto las ecuaciones del mismo como su programación en computadora. Con esta metodología es inmediato solucionar problemas de dinámica urbana, de dinámica empresarial y social de manera sencilla mediante ecuaciones discretizadas de segundo orden.

Por otra parte, no podemos dejar de mencionar la utilidad de esta ecuación diferencial en la solución de otros problemas de planteamiento más complejo. Eso ocurre en multitud de problemas de permeabilización y transporte, difusión de fluidos, conducción del calor y otros flujos, modelos de ecosistemas, control de la contaminación y optimización que aunque formulados como ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, la aplicación sistemática de una o más transformadas integrales las reduce en multitud de casos a una ecuación diferencial de segundo orden.

En resumen, y esto es lo importante para este trabajo, existe toda una multitud de problemas reales que para su descripción, análisis y solución adoptan este único formalismo de la ecuación diferencial de segundo orden con coeficientes constantes. En consecuencia decimos que todos esos problemas son isomorfos. Esa isomorfía conceptual se transforma en Principios de Analogía Física que relacionan entre sí los elementos análogos de problemas distintos y así conocemos la Analogía electro-hidráulica y la Analogía electro-mecánica, entre otras.

Pero el isomorfismo conceptual conduce también a un isomorfismo tutorial y de aprendizaje, en el sentido de que los conceptos que son fundamentales para comprender el funcionamiento y solución de

un determinado problema se corresponden biunívocamente con los de otro problema isomorfo. De esta manera, el esfuerzo tutorial y pedagógico que se haga para ayudar al aprendizaje de un sistema de primer orden servirá para cualquier otro problema isomorfo; ciertamente que los contenidos concretos, conceptos y elementos utilizados en el primero deberán ser substituidos por sus correspondientes homólogos del segundo, pero permanece y se mantiene la importancia de los conceptos básicos (que siempre serán homólogos), y se conservan los esfuerzos pedagógicos hechos en una determinada dirección, bien sea de ayuda conceptual, estratégica o táctica ante la isomorfía conceptual. Estas razones han motivado la atención tutorial y pedagógica dedicada a ayudar al aprendizaje del problema que nos ocupa, pensando en una posterior extrapolación a otros diversos.

Los sistemas de un grado de libertad y su importancia en el diseño sísmico

Se define, dentro del contexto del análisis estructural, un grado de libertad como cada uno de las componentes independientes de desplazamiento requeridas para describir la configuración deformada de una estructura sujeta a una serie de cargas externas. En este sentido, un sistema de un grado de libertad (S1GL) es un modelo simple que requiere de una componente independiente de desplazamiento para definir su respuesta ante una carga externa. Aunque estrictamente no existan estructuras que sean sistemas de un grado de libertad, es posible en muchos casos de interés práctico, obtener estimaciones razonables de la respuesta de una estructura compleja a partir de uno o más S1GL.

Dentro del contexto de la dinámica estructural, un S1GL está constituido por tres componentes: una masa concentrada, un amortiguador y un elemento estructural, generalmente modelado a partir de un resorte. La ubicación del centro de masa suele ser el punto de referencia a partir del cual se mide la única componente independiente de desplazamiento asociada al S1GL. Tanto el amortiguador como el resorte pueden entenderse como elementos estructurales resistentes que conectan la masa a uno o más apoyos.

Cada uno de los tres elementos que conforman un S1GL es susceptible a generar fuerzas internas en función de una variación en el estado de movimiento de la masa. En particular, la masa genera una fuerza de inercia en función de su aceleración; el resorte, una fuerza restitutiva en función del desplazamiento; y el amortiguador, una fuerza disipadora en función de la velocidad. Estas tres fuerzas internas se oponen a un cambio en el estado de movimiento en que se encuentra la masa en un momento dado, y su interacción con la fuerza externa define el movimiento de la masa en un instante dado.

La importancia del entendimiento de la respuesta de un S1GL puede entenderse a partir de la aplicación práctica que se le da a estos sistemas. En particular, aquí se discutirá dicha aplicación dentro del contexto del diseño sísmico, que se definirá aquí como: "La rama de la ingeniería dedicada a la reducción del peligro sísmico. En este amplio contexto, la ingeniería sísmica cubre la investigación y la solución de los problemas causados por eventos sísmicos destructivos y, consecuentemente, el trabajo involucrado en la aplicación práctica de estas soluciones, tal como: planeación, diseño, construcción y administración de las estructuras e instalaciones sismorresistentes".

En las últimas tres décadas, la comunidad de ingeniería estructural ha cambiado radicalmente su enfoque de la ingeniería sísmica. Se ha planteado que el ingeniero debe tener un rol más activo durante el diseño sísmico, de manera que la respuesta de las estructuras que diseña este constreñida a ciertas condiciones que se plantean a priori. Esto es, más que diseñar las estructuras para que resistan un determinado conjunto de demandas sísmicas, se ha planteado que parte de la labor del ingeniero consiste en limitar las opciones que tiene la estructura para responder ante la excitación sísmica, y en controlar, por medio de la selección apropiada de las características mecánicas de la estructura, las demandas sísmicas dentro de límites aceptables.

La dinámica estructural ha permitido mejorar sustancialmente nuestro entendimiento de la respuesta

sísmica de las estructuras sismorresistentes, y aporta herramientas para estimar, de una manera razonable, las demandas sísmicas que actúan en ellas. A partir del estudio de la respuesta dinámica de sistemas sencillos, es posible aportar, en lo esencial, las bases para entender porque una estructura sujeta a una excitación sísmica puede llegar a amplificar o reducir de manera importante el movimiento del terreno, y bajo que circunstancias puede desprejarse el efecto dinámico de dichas excitaciones.

Cabe destacar que en algunos casos, la amplificación o reducción, que dependen de la interacción que se presente entre las características mecánicas de la estructura y las características dinámicas de la excitación sísmica, llevan a situaciones que son difíciles de explicar a partir de la aplicación estática de una serie de fuerzas laterales equivalentes. A manera de ejemplo, se transcriben porciones de una discusión presentada por Terán (2002) en un trabajo reciente: "Bajo estas suposiciones, el sistema B posee aproximadamente tres veces la rigidez lateral del sistema C... el sistema B exhibe, durante el movimiento registrado en la secretaría de comunicaciones y transportes en el sentido Este-Oeste (SCT EO) en 1985, una demanda de desplazamiento lateral prácticamente igual que el doble de la sufrida por el sistema C. Esto es, el sistema con el triple de rigidez lateral exhibe un desplazamiento lateral dos veces mayor...". Esto lo lleva a concluir: "... un incremento en la rigidez lateral y resistencia lateral de una estructura sismorresistente no siempre resultan en un mejor control de su respuesta sísmica... el control de la respuesta sísmica de una estructura requiere de la selección juiciosa de un conjunto de características mecánicas a nivel global (cortante basal, periodo fundamental de vibración, ductilidad última), y no de un incremento arbitrario e indiscriminado de los suministros sísmicos. La falta de entendimiento de los conceptos básicos de la dinámica estructural puede llevar a la adopción de medidas que, aunque aparentemente de carácter conservador, lleven a un desempeño sísmico deficiente...".

El entendimiento de la variación de la respuesta dinámica de una estructura en función del valor de sus características mecánicas, y el desarrollo de herramientas analíticas para cuantificar las demandas sísmicas y la magnitud de dicha variación, hacen posible el planteamiento del control de la respuesta dinámica a partir de la selección juiciosa de las características mecánicas de la estructura. Las bases de este enfoque están dadas a partir del entendimiento de la respuesta de sistemas de un grado de libertad sujetos a excitaciones sísmicas con diferente contenido de frecuencia y duración.

Limite del dominio de aprendizaje

La ecuación general de movimiento para un sistema de un grado de libertad que permanece elástico, cuando se le sujeta a la acción de una carga externa que varía en el tiempo, puede plantearse conforme a lo siguiente:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \text{ donde}$$

- u =desplazamiento del sistema
- \dot{u} =velocidad del sistema
- \ddot{u} =aceleración
- m =masa
- c =coeficiente de amortiguamiento
- k =rigidez
- $p(t)$ =fuerza externa

Caso a) Vibración libre ($p(y) = 0$) sin amortiguamiento ($c=0$)

Ecuación de movimiento: $m\ddot{u} + ku = 0$

Solución: $u(t) = u_0 \cos \omega t + \frac{\dot{u}_0}{\omega} \operatorname{sen} \omega t$

donde $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ = frecuencia natural de vibración.

u_0 y \dot{u}_0 = desplazamiento y velocidad inicial de la masa, respectivamente

Caso b) Vibración libre ($p(y) = 0$) con amortiguamiento ($c \neq 0$)

Ecuación de movimiento: $m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0$

Solución: $u(t) = e^{-\xi \omega t} (u_0 \cos \frac{\omega_d t + \omega u_0}{\omega_d} \operatorname{sen} \omega_d t)$

donde $\omega_d = \sqrt{1 - \xi^2} = f$ frecuencia natural amortiguada de vibración.

$\xi = \frac{c}{2m\omega}$ = coeficiente de amortiguamiento,

y las demás variables y parámetros se definieron con anterioridad.

Caso c) Vibración forzada ante carga armónica ($p(t) = p_0 \operatorname{sen} \Omega t$) sin amortiguamiento ($c=0$)

Ecuación de movimiento: $m\ddot{u} + ku = p_0 \operatorname{sen} \Omega t$

Solución: $u(t) = u_H(t) + u_p(t)$, donde $u_H(t)$ y $u_p(t)$ representan las soluciones homogénea y particular, respectivamente. Dado que el término $u_H(t)$ no contribuye de manera importante en la respuesta dinámica de una estructura sismorresistente, solo $u_p(t)$ es de interés:

$$u_p(t) = \frac{p_0}{k} \frac{\operatorname{sen} \Omega t}{1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}}$$

donde Ω = es la frecuencia con que se aplica la fuerza externa,
 p_0 = la amplitud máxima de la fuerza externa,
 y las demás variables y parámetros se definieron con anterioridad

Caso c) Vibración forzada ante carga armónica ($p(t) = p_0 \text{sen}\Omega t$) con amortiguamiento ($c \neq 0$)

Ecuación de movimiento: $m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p_0 \text{sen}\Omega t$

Solución: $u(t) = u_H(t) + u_p(t)$, donde $u_H(t)$ y $u_p(t)$ representan las soluciones homogénea y particular, respectivamente. Dado que el término $u_H(t)$ no contribuye de manera importante en la respuesta dinámica de una estructura sismorresistente, solo $u_p(t)$ es de interés:

$$u_p(t) = \frac{p_0}{k} \frac{\text{sen}(\Omega t - \theta)}{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2}$$

donde $\theta = \arctan\left(\frac{2\xi\beta}{1 - \beta^2}\right) = \text{ángulo de fase}$,

$\beta = \frac{\Omega}{\omega}$ = relación entre las frecuencias de la excitación y

del S1GL, respectivamente, y las demás variables y parámetros se definieron con anterioridad.

Caso e) Vibración forzada ante carga con amortiguamiento ($c \neq 0$)

Ecuación de movimiento: $m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t)$. En caso que la estructura exhiba comportamiento no lineal (plástico), el término ku se sustituye por $f_s(t)$, que corresponde a la fuerza interna de deformación que se desarrolla en el S1GL. En particular, $f_s(t)$ depende de u y de \dot{u} , así como del comportamiento histerético del sistema.

Solución: Integración Numérica. Chopra (1995) describe en detalle el Método de Newmark con aceleración constante, que es el que se utilizará en el desarrollo de la aplicación que

Desarrollo de un ejemplo específico

Con base en la experiencia de los autores se decidió dividir el dominio de la sección anterior en siete sub-dominios independientes que de ahora en adelante se denotarán mini-teorías articuladas, y que serán analizadas de manera individual desde la perspectiva didáctica y cognitiva (figura 1).

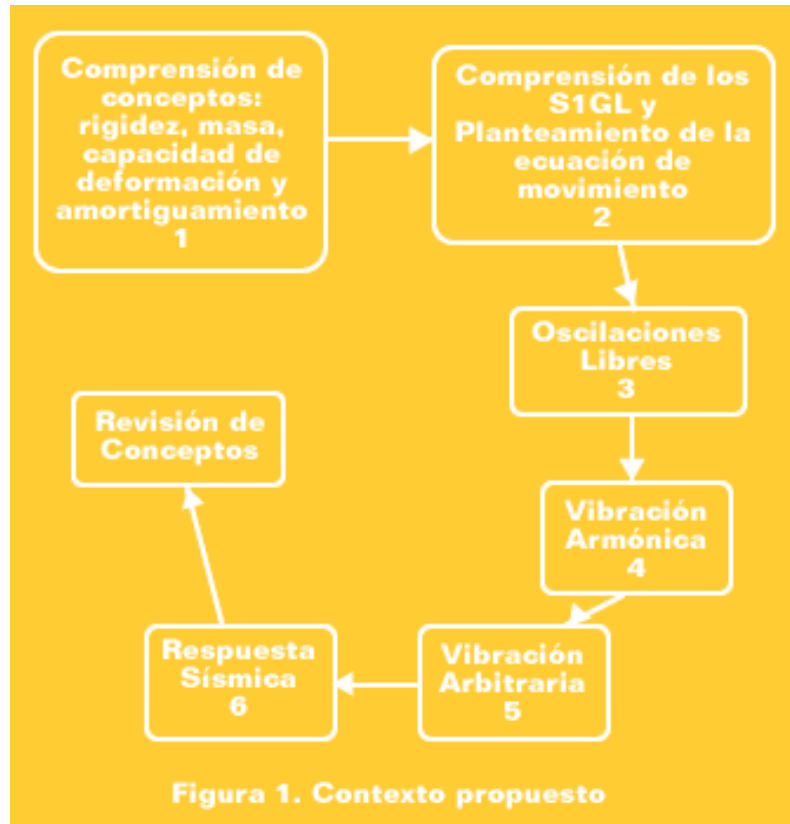


Figura 1. Contexto propuesto

En la figura 1, se presentan las siete mini teorías articuladas. A continuación se desarrollan cinco de ellas para ejemplificar el desarrollo del modelo mental cualitativo. Las teorías 6 y 7 son consideradas la parte cuantitativa del dominio.

Fases del desarrollo de un modelo didáctico-cognitivo

1. Formulación de objetivos y esbozo de contenidos de cada sub-dominio para lo cual se desarrollan los esquemas mentales.
2. Selección y desarrollo de estrategias didácticas.
3. Formulación del sistema de evaluación del aprendizaje.

Mini-teorías articuladas de los distintos sub-dominios

A continuación se presentan las mini-teorías articuladas tomando en consideración: a) los tres puntos anteriores y, b) que tratamos con un tipo de conocimiento cualitativo.

Mini-teoría articulada 1

Comprensión de los conceptos: rigidez, masa, capacidad de deformación y amortiguamiento.

Objetivos:

- Definir rigidez con base en el contraste que existe entre deformar un objeto flexible y un objeto rígido;
- Definir masa y discutir su efecto en la estabilidad de objetos ante aceleraciones laterales. Con base en la capacidad de los objetos para guardar el equilibrio, se define la masa y su efecto en las estructuras sismorresistentes;
- Identificar el efecto de las características mecánicas de una estructura sismorresistente (rigidez, resistencia, masa y capacidad de deformación) en su respuesta sísmica. El alumno debe identificar, a partir del comportamiento de tres estructuras simples que se le presentan, la relevancia de cada característica mecánica, y el papel que juega dentro de un sistema estructural sismorresistente;
- Definir amortiguamiento y su efecto en la respuesta sísmica de las estructuras sismorresistentes.

Marco: Un paseo en el bosque entre dos personajes y el alumno. Este paseo empieza en una casa, prosigue con un viaje en camión, a continuación se da un paseo por el bosque y culmina con un día de campo. Un personaje tendrá respuestas rápidas e incompletas a las situaciones que ve. El otro personaje siempre hace observaciones profundas que invitan a reflexionar más allá de lo que lo ha hecho el primer personaje. Habrá varias experiencias: primero en la casa con objetos de diferente rigidez, segundo en el camión con el estudiante cargando una masa pesada, tercero en el bosque con árboles de diferente tamaño sujetos a vientos de diferente intensidad, y por último con dos ramas de un árbol (con y sin hojas).

A partir de lo que observan los tres personajes, el alumno debe ser capaz de identificar la resistencia, rigidez, masa, capacidad de deformación y amortiguamiento como propiedades relevantes para el buen o mal comportamiento de las estructuras sismorresistentes.

- Actividad Definitoria: deducción de lo que sucede en un instante dado.

CASA (Rigidez): Sorpresa que causa al conejo ver que hay objetos que se deforman mucho más allá de sus dimensiones originales.

CAMION (Masa): El alumno pierde el equilibrio cuando carga una masa pesada, y acto seguido se mantiene en pie una vez que ya no la carga.

BOSQUE (Características mecánicas: rigidez, resistencia, masa y capacidad de deformación): El contraste entre el mal comportamiento de dos árboles ante situaciones diferentes: un árbol grande se comporta mejor ante vientos leves mientras que un árbol ligero presenta ventajas ante vientos huracanados.

BOSQUE (Amortiguamiento y su efecto en la respuesta sísmica): El diferente comportamiento que exhiben dos ramas iguales, una con hojas y otra sin hojas, donde el movimiento de una es amortiguado en mayor grado por la interacción entre las hojas y el aire circundante. Dentro de los detalles a considerarse está definir y explicar adecuadamente el concepto de amortiguamiento. Para esto, el alumno debe comprender que el comportamiento amortiguado que se observa en la rama con hojas puede ser modelado como una característica mecánica intrínseca de las estructuras sismorresistentes.

- Predicción: predecir que sucederá a partir de información incompleta en un posible futuro.

En las diferentes escenas diseñadas el alumno debe ser capaz de integrar lo aprendido para poder predecir parcialmente que tipo de propiedades debe tener una estructura para responder adecuadamente ante

excitaciones sísmicas de diferente intensidad. En cada etapa y al final se harán preguntas para revisar si el alumno tiene esta capacidad. Debe enfatizarse que el objetivo de esta mini-teoría es que el alumno identifique las diferentes características mecánicas de una estructura sismorresistente, y el papel que juegan durante eventos sísmicos de diferente intensidad. En este sentido, la predicción no es el fin de la mini-teoría, sino un medio para ilustrar la relevancia de cada una de las características mecánicas de una estructura sismorresistente.

- Post-dicción: con base en una situación actual concreta explicar como se ha llegado a ella.

En cada etapa y al final, se mostrarán escenarios sencillos donde se sujetan dos estructuras similares a la misma excitación sísmica. Una estructura tendrá deficiencia de alguna característica mecánica (resistencia, rigidez, amortiguamiento o capacidad de deformación) y, con base en la comparación del desempeño de ambas estructuras, el alumno debe ser capaz de identificar cuál es la característica mecánica deficiente. Como en el caso anterior, es importante mencionar que la post-dicción no es el fin de la mini-teoría, sino un medio para ilustrar la relevancia de las características mecánicas.

- Análisis Escéptico: determinar la consistencia de una descripción con respecto a una situación física.

Como en todo modelo de la realidad, el diseño del entorno tendrá simplificaciones con respecto al mundo real. Dado que el objeto es hacerle intuir al alumno una serie de conceptos, y la importancia de cuantificar, a través de las características mecánicas, las propiedades sismorresistentes de una estructura, no se considera conveniente plantear un análisis escéptico (no forma parte de la reflexión de enseñanza-aprendizaje de esta mini-teoría).

- Interpretación cuantitativa: dada la descripción parcial de las particularidades de una situación y algunas observaciones de su comportamiento, inferir que otras particularidades existen y que más puede suceder.

A partir de lo que sucede con experiencias idealizadas, el alumno debe ser capaz de extrapolar la importancia que tienen: la resistencia, la rigidez, la masa, la capacidad de deformación y el amortiguamiento en el comportamiento de una estructura sismorresistente. Dentro de este contexto, la información cuantitativa que se maneja se limita a definir si una estructura exhibe poca, moderada o mucha capacidad con referencia a cada una de sus características mecánicas.

- Planificación experimental: dado un conocimiento de lo que puede observarse y manipularse, planificar acciones que conlleven a la obtención mayor información de la situación.

El alumno no tiene control para definir o modificar las situaciones que le son planteadas como parte de esta mini-teoría. Por tanto, la planificación experimental no es importante para alcanzar el objetivo planteado. Cabe mencionar que aquí se definen parámetros que en etapas futuras permitirán al alumno hacer una buena planificación experimental.

- Razonamiento causal: causa-efecto.

Dada la limitada interactividad de esta etapa, no hay un proceso formal causa-efecto. Este razonamiento se limita a la identificación cualitativa de una deficiencia estructural en una estructura sismorresistente a partir de su comportamiento deficiente ante una excitación dinámica dada.

Mini-teoría articulada 2. Sistema de un grado de libertad y ecuación de movimiento

Objetivos: Que el alumno

- Entienda el concepto de sistema de un grado de libertad (S1GL), y su aplicación al modelado analítico de las estructuras sismorresistentes;
- Debe poder plantear la ecuación de movimiento de un S1GL sujeto a la acción de una fuerza dinámica.

Marco: Salen los personajes del bosque y pasan a un nuevo micro-mundo. Sigue la misma caracterización de los tres personajes. Lo primero que verá el alumno en el nuevo micro-mundo será una puerta y un libro en el cual se le presenta una serie de definiciones. Luego verá una serie de seis sistemas con diferentes grados de libertad; tendrá que identificar cuáles cumplen las condiciones geométricas propias de un sistema de un grado de libertad (S1GL). Luego se presenta la caracterización de un S1GL de acuerdo a su movimiento, tras lo cual se le presenta una serie de cuatro sistemas; tendrá que identificar los S1GL de acuerdo a su movimiento. Después de identificar y definir los tres componentes de un S1GL (masa, resorte y amortiguador), se ilustra su comportamiento ante un cambio en sus estados de deformación y movimiento, a partir de lo cual se derivan ecuaciones para estimar las fuerzas dinámicas que se generan en ellos. Finalmente se integra este material para plantear la ecuación de movimiento.

Lo anterior se da en un marco de pantallas con animación de los sistemas y componentes que se presentan.

- **Actividad Definitoria.** Consiste en una serie de experiencias visuales que permiten al alumno: identificar los S1GL de acuerdo a su geometría y tipo de movimiento; identificar los componentes de un S1GL (masa, resorte y amortiguador) y definir las relaciones matemáticas que predicen el nivel de fuerza en dichos componentes (las masas y los resortes se deducen directamente mientras que los amortiguadores se deducen por inferencia); integrar el material didáctico para plantear correctamente la ecuación de movimiento.
- **Predicción.** Esta mini-teoría se centra en el desarrollo de una herramienta para el modelado de las estructuras sismorresistentes, no en el uso de dicha herramienta. Por tanto, no se aportan elementos al alumno para predecir una situación dada.
- **Post-dicción.** Por las razones descritas en el párrafo anterior, no se plantean elementos de post-dicción.
- **Análisis Escéptico.** Dado que a estas alturas se le presenta al alumno un modelo analítico, que es consistente acorde a las bases que se formulan, no se considera conveniente plantear un análisis escéptico.
- **Interpretación cuantitativa.** Esta mini-teoría no tiene fines cuantitativos. Sin embargo, se darán elementos al alumno para que identifique las estructuras sismorresistentes que pueden modelarse a partir de un S1GL (se exhibirán fotografías de diversas estructuras reales que puedan modelarse como S1GL), y para que pueda cuantificar el valor de las características mecánicas involucradas en dicho modelo (masa, rigidez, amortiguamiento). Además, se le hará ver que en ciertos casos, la ecuación de movimiento de un S1GL es una herramienta útil para estimar la respuesta dinámica de estructuras sismorresistentes complejas. Entre otras cosas, se pretende identificar las limitaciones del uso del concepto de S1GL.

- Planificación experimental. El alumno no tiene control para definir o modificar las situaciones que le son planteadas como parte de esta mini-teoría. En ese sentido, no se ha hecho una planificación experimental. Cabe mencionar aquí que en etapas futuras se planteará el estudio experimental de la ecuación de movimiento bajo diferentes circunstancias.
- Razonamiento causal. El planteamiento de esta mini-teoría articulada no implica razonamiento causal, ya que se presentan las bases para plantear un modelo analítico de gran utilidad durante el diseño sísmico de las estructuras.

Mini-teoría articulada 3. Oscilaciones libres

Objetivos: Que el alumno

- Entienda el comportamiento de un S1GL sujeto a oscilaciones libres; esto es, el efecto que el valor o un cambio en el valor de m , k , ξ , u_0 , u_0 tienen en su estado de movimiento;
- Comprenda el concepto de periodo y frecuencia natural de vibración (como propiedades inherentes a los S1GL).

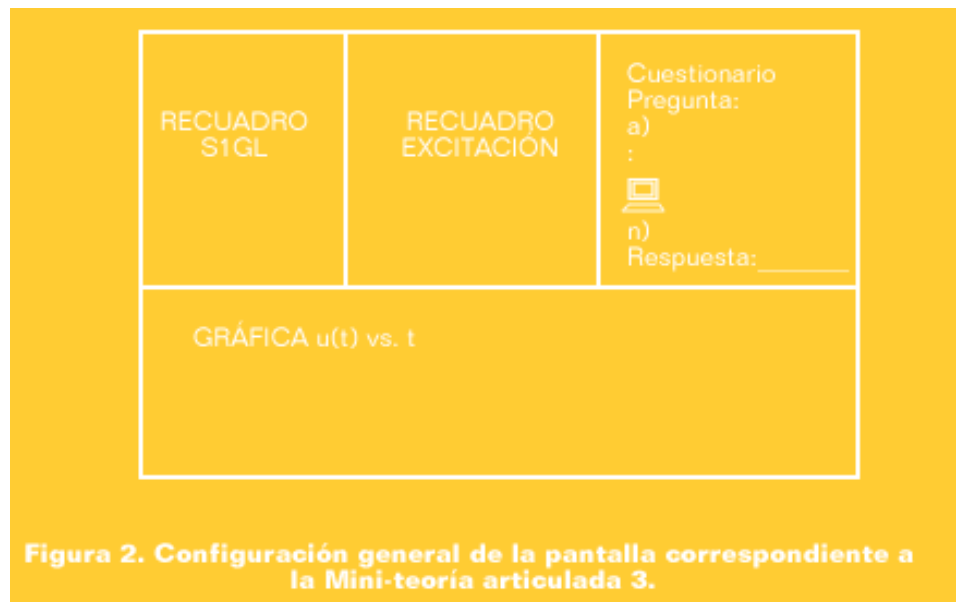


Figura 2. Configuración general de la pantalla correspondiente a la Mini-teoría articulada 3.

Marco: Se divide la pantalla en cuatro recuadros conforme a lo mostrado en la figura 2. Esta contextualización está representada por una pantalla reactiva que permite al usuario experimentar con las agnitudes de los parámetros (m , k , ξ , u_0 , u_0) y ver de forma inmediata los efectos de estos cambios en la respuesta del S1GL.

- Actividad Definitoria. Experiencias visuales que permiten al alumno entender cuales son las consecuencias de un cambio en m , k , ξ , u_0 , u_0 en el movimiento del S1GL sujeto a vibraciones libres.
- Predicción. Al final de esta sección, el alumno debe poder predecir en forma cualitativa y cuantitativa el efecto de un cambio en m , k , ξ , u_0 , u_0 en las propiedades dinámicas de un S1GL, y en su estado de movimiento en vibración libre. En caso necesario, se plantea una serie de preguntas al alumno para orientarlo.

- **Post-dicción.** El alumno debe ser capaz de deducir que cambios en las propiedades de un S1GL resultan en un cambio especificado de sus características dinámicas y/o estado de movimiento en vibración libre. Por ejemplo, se le preguntaría ¿qué cambio debe darse en la masa para duplicar el periodo del S1GL dado que su rigidez permanece constante? En caso necesario, se plantea una serie de preguntas al alumno para orientarlo.
- **Análisis Escéptico.** Dado que a estas alturas se presenta al alumno un modelo analítico, que es consistente acorde a las bases que se formulan, no se considera conveniente plantear un análisis escéptico. Esto es, más que contrastar el modelo con la realidad, esta mini-teoría pretende enseñar al alumno como manejar un modelo matemático, y las particularidades de su uso.
- **Interpretación cuantitativa.** El alumno debe ser capaz de establecer una de las propiedades del sistema dado que conoce las demás y su estado de movimiento en vibración libre. Además, debe poder predecir cuantitativamente como el cambio en una de sus propiedades o en la fuerza externa afecta su estado de movimiento. Se enfatizará al alumno: que independientemente de la complejidad de una estructura sismorresistente, ésta posee un periodo fundamental de vibración y frecuencia asociada; y que las tendencias que ha identificado para S1GL aportan elementos para entender la respuesta en vibración libre de estructuras complejas. Para ayudar al proceso didáctico, se presentarán una serie de estructuras reales susceptibles a ser modeladas con un S1GL, y se reportará el periodo fundamental de vibración que les corresponde y su respuesta medida en campo cuando se les sujeta a vibración libre. En caso necesario, se plantea una serie de preguntas al alumno para ayudarlo a inferir que lo aprendido en S1GL aplica a estructuras mucho más complejas.
- **Planificación experimental.** La planificación experimental es fundamental en este mundo. Se proporciona al alumno un laboratorio virtual donde pueda manejar a su gusto todos los parámetros involucrados en la ecuación de movimiento de un S1GL sujeto a oscilaciones libres. Todo el proceso de enseñanza-aprendizaje involucrado en este mundo se da a partir de la planificación experimental. Existe la necesidad de ir haciendo preguntas al alumno por etapas para guiarlo en cuanto a que experiencias le conviene plantear.
- **Razonamiento causal.** En esta etapa, el razonamiento causal va ligado a la planificación experimental. Se varían los valores de los diferentes parámetros involucrados en la ecuación de movimiento y se observa su efecto en el estado de movimiento de un S1GL. Es importante que el alumno integre el conocimiento adquirido por medio de variar individual y cuidadosamente el valor de los diferentes parámetros.

Miniteoría articulada 4. Vibración armónica

Objetivos: Que el alumno

- Entienda el comportamiento de un S1GL sujeto a cargas armónicas; esto es, el efecto que el valor o un cambio en el valor de m , k , ξ , P_0 y Ω tienen en su estado de movimiento;
- Comprenda el concepto de amplificación dinámica.

Marco: Se divide la pantalla en cuatro recuadros conforme a lo mostrado en la figura 3. Esta contextualización está representada por una pantalla reactiva que permite al usuario experimentar con las magnitudes de los parámetros (m , k , ξ , P_0 y Ω) y ver de forma inmediata los efectos de estos cambios en la respuesta del S1GL.

22-29



- Actividad Definitoria. Experiencias visuales que permiten al alumno entender cuales son las consecuencias de un cambio en m , k , ξ , P_0 y Ω en el movimiento de un S1GL sujeto a vibración armónica.
- Predicción. Al final de esta sección, el alumno debe poder predecir en forma cualitativa y cuantitativa el efecto de un cambio en m , k , ξ , P_0 y Ω en el estado de movimiento de un S1GL sujeto a vibraciones armónicas. En particular, el alumno deberá ser capaz de identificar cuando un S1GL amplifica la fuerza externa que se le aplica (resonancia), cuando de-amplifica dicha fuerza, y bajo que circunstancias es posible despreciar el efecto dinámico de la carga. En caso necesario, se plantea una serie de preguntas al alumno para orientarlo.
- Post-dicción. El alumno debe ser capaz de deducir que cambios en las propiedades de un S1GL resultan en un cambio especificado en su estado de movimiento ante vibración armónica. Por ejemplo, se le preguntaría ¿qué cambio debe darse en la masa del S1GL para reducir en 50% su desplazamiento máximo durante la excitación armónica? En caso necesario, se plantea una serie de preguntas al alumno para orientarlo.
- Análisis Escéptico. Dado que a estas alturas se presenta al alumno un modelo analítico, que es consistente acorde a las bases que se formulan, no se considera conveniente plantear un análisis escéptico. Esto es, mas que contrastar el modelo con la realidad, esta mini-teoría pretende enseñar al alumno como manejar un modelo matemático, las particularidades de su uso, y el concepto de amplificación dinámica.
- Interpretación cuantitativa. El alumno debe ser capaz de establecer una de las propiedades del sistema dado que conoce las demás y su estado de movimiento en vibración armónica. Además, debe poder predecir cuantitativamente como el cambio en una de sus propiedades o en la fuerza externa afecta su estado de movimiento. Se enfatizará al alumno que independientemente de la complejidad de una estructura sismorresistente, esta presenta la misma tendencia a amplificar o de-amplificar una fuerza externa en función de la interacción que se presenta entre sus características mecánicas y las características dinámicas de la excitación. Para enriquecer el proceso didáctico, se presentará una serie de estructuras sismorresistentes reales que han sufrido daño significativo debido al efecto de amplificación dinámica en la Ciudad de México durante los sismos de 1985. En caso necesario, se plantea una serie de preguntas al alumno para ayudarlo a inferir que lo

aprendido en S1GL aplica a estructuras mucho más complejas.

- Planificación experimental. La planificación experimental es fundamental en este mundo. Se proporciona al alumno un laboratorio virtual donde pueda manejar a su gusto todos los parámetros involucrados en la ecuación de movimiento de un S1GL sujeto a carga armónica. Todo el proceso de enseñanza-aprendizaje involucrado en este mundo se da a partir de la planificación experimental. Existe la necesidad de ir haciendo preguntas al alumno por etapas para guiarlo en cuanto a que experiencias le conviene plantear.
- Razonamiento causal. En esta etapa, el razonamiento causal va ligado a la planificación experimental. Se varían los valores de los diferentes parámetros involucrados en la ecuación de movimiento y se observa su efecto en el estado de movimiento de un S1GL. Es importante que el alumno integre el conocimiento adquirido por medio de variar individual y cuidadosamente el valor de los diferentes parámetros.

Mini-teoría articulada 5. Vibración arbitraria

Objetivos: Que el alumno

- Entienda el comportamiento de un S1GL sujeto a excitaciones sísmicas generadas en diferente tipo de suelos (roca, aluvión, arcilla, etc.); esto es, el efecto que el valor o un cambio en el valor de m , k y ξ tienen en su estado de movimiento y respuesta máxima durante diferente tipo de excitaciones sísmicas;
- Comprenda que el concepto de amplificación dinámica aplica a cualquier excitación sísmica, y pueda identificar las particularidades de esta amplificación en movimientos generados en diferente tipo de suelos.
- Comprenda el concepto de control de la respuesta dinámica por medio de seleccionar una combinación de m , k y ξ que permita controlar, para una excitación sísmica dada, el desplazamiento máximo de un S1GL dentro de límites aceptables establecidos a priori.

Marco: Se divide la pantalla en cuatro recuadros conforme a lo mostrado en la figura 4. Esta contextualización está representada por una pantalla reactiva que permite al usuario experimentar con las magnitudes de los parámetros (m , k y ξ) y ver de forma inmediata los efectos de estos cambios en la respuesta de un S1GL sujeto a excitaciones sísmicas generadas en diferente tipo de terreno.



- **Actividad Definitoria.** Experiencias visuales que permiten al alumno entender cuales son las consecuencias de un cambio en m , k y ξ en el movimiento de un S1GL sujeto a excitaciones sísmicas generadas en diferente tipo de terreno.
- **Predicción.** Al final de esta sección, el alumno debe poder entender en forma cualitativa la respuesta esperada de un S1GL ante una excitación sísmica dada, y predecir en forma cualitativa y cuantitativa el efecto de un cambio en m , k y ξ en su respuesta máxima ante dicha excitación. En particular, el alumno deberá ser capaz de identificar, para diferente tipo de excitaciones sísmicas, cuando un S1GL amplifica la fuerza externa que se le aplica (resonancia práctica), cuando de-amplifica dicha fuerza, y bajo que circunstancias es posible despreciar el efecto dinámico de la carga. En caso necesario, se plantea una serie de preguntas al alumno para orientarlo.
- **Post-dicción.** El alumno debe ser capaz de deducir que cambios en las propiedades de un S1GL resultan en un cambio especificado en su estado de movimiento ante una excitación sísmica particular. Por ejemplo, se le preguntaría ¿qué cambio debe darse en la rigidez de un S1GL para reducir en 50% su desplazamiento máximo durante la siguiente excitación sísmica, registrada en suelo rocoso? En caso necesario, se plantea una serie de preguntas al alumno para orientarlo.
- **Análisis Escéptico.** Dado que a estas alturas se presenta al alumno un modelo analítico, que es consistente acorde a las bases que se formulan, no se considera conveniente plantear un análisis escéptico. Esto es, más que contrastar el modelo con la realidad, esta mini-teoría pretende enseñar al alumno como manejar un modelo matemático, las particularidades de su uso, y los conceptos de amplificación dinámica y de control de la respuesta sísmica.
- **Interpretación cuantitativa.** El alumno debe ser capaz de establecer combinaciones aceptables de m , k y ξ que permitan controlar el desplazamiento máximo de la estructura durante una excitación sísmica dada, dentro de límites establecidos a priori en función del nivel de daño aceptable. Además, debe poder predecir cuantitativamente como el cambio en una de sus propiedades o en la las características de la excitación sísmica afecta su estado de movimiento y respuesta máxima. Se enfatizará al alumno que independientemente de la complejidad de una estructura sismorresistente, esta presente la misma tendencia a amplificar o de-amplificar una fuerza externa en función de la interacción que se presente entre sus características mecánicas y las características dinámicas de la excitación sísmica. En caso necesario, se plantea una serie de preguntas al alumno para ayudarlo a inferir que lo aprendido en S1GL aplica a estructuras mucho más complejas.
- **Planificación experimental.** La planificación experimental es fundamental en este mundo. Se proporciona al alumno un laboratorio virtual donde pueda manejar a su gusto todos los parámetros involucrados en la ecuación de movimiento de un S1GL sujeto a excitación arbitraria. Todo el proceso de enseñanza-aprendizaje involucrado en este mundo se da a partir de la planificación experimental. Existe la necesidad de ir haciendo preguntas al alumno por etapas para guiarlo en cuanto a que experiencias le conviene plantear.
- **Razonamiento causal.** En esta etapa, el razonamiento causal va ligado a la planificación experimental. Se varían los valores de los diferentes parámetros involucrados en la ecuación de movimiento y se observa su efecto en el estado de movimiento de un S1GL en excitaciones sísmicas generadas en diferente tipo de suelos. Es importante que el alumno

integre el conocimiento adquirido por medio de variar individual y cuidadosamente el valor de los diferentes parámetros, y el tipo de suelo donde se genera la excitación sísmica.

Mini-teoría articulada 6. Respuesta sísmica

Objetivos: Que el alumno

- Identifique la resistencia lateral de las estructuras sismorresistentes como una característica mecánica relevante para el control de su respuesta dinámica;
- Entienda la respuesta de un S1GL con comportamiento plástico cuando se le sujeta a excitaciones sísmicas generadas en diferente tipo de suelos (roca, aluvión, arcilla, etc.); esto es, el efecto que el valor o un cambio en el valor de m , k , ξ y la resistencia lateral tienen en su estado de movimiento y respuesta máxima durante diferente tipo de excitaciones sísmicas;
- Entienda el concepto de espectro de respuesta, y su aplicación para el control de la respuesta dinámica de las estructuras sismorresistentes.
- Sea capaz de diseñar sistemas estructurales sencillos que satisfagan criterios de control de daño.

Aunque existen algunas ideas para el desarrollo de esta mini-teoría articulada, todavía no se hace un planteamiento formal de ella. Se considera importante hacer un planteamiento inicial completo de las mini-teorías articuladas que preceden a ésta, y recopilar algunas experiencias con alumnos de nivel licenciatura antes de plantearla formalmente.

CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

De lo anteriormente expuesto podemos afirmar tentativamente:

- 1) Los sistemas de un grado de libertad constituyen un modelo fundamental por la difusión de su empleo y la utilidad de los resultados que aporta no sólo en las ciencias experimentales sino también en otros muchos y variados dominios del conocimiento. En consecuencia, todos los esfuerzos realizados para ayudar a la adquisición de habilidades cognitivas referidas a este tipo de problemas es de utilidad por su aplicación inmediata y posibilidad de extrapolación a otros problemas isomorfos con moderados esfuerzos adicionales.
- 2) En relación con los enfoques actuales de llevar a cabo el aprendizaje, el enfoque centrado en el estudiante, ya ha dado suficientes resultados mundiales para mostrar sus ventajas y su conveniencia. Dentro de dicho enfoque, en el que el estudiante asume el protagonismo de su propio aprendizaje los sistemas de entrenamiento como el que se describe en este trabajo adquieren una gran importancia como ayuda personal a ese proceso de aprendizaje.
- 3) Es posible llevar a cabo un entorno de aprendizaje que incorpore modelos cognitivos tanto del aprendizaje del propio proceso y su desarrollo, como los modelos mentales del experto humano. La incardinación de esos modelos en el entorno de aprendizaje permitirán la adquisición más rápida de los modelos mentales del experto por parte del aprendiz y su transferencia a experto.
- 4) El razonamiento cualitativo y su realización a través de las miniteorías, ocupa un lugar muy destacado entre las ayudas posibles a facilitar a los alumnos para la descripción de procesos y solución de ciertos problemas en un dominio concreto de aprendizaje, porque es un elemento utilizado prioritariamente por el experto humano para realizar sus inferencias sobre el dominio de aprendizaje y obtener sus conclusiones al respecto.

En la actualidad se piensa en la implementación de un sistema multi-agente que instrumentaría todos los trabajos descritos en este artículo y permitiría el entrenamiento del usuario en el dominio de conocimiento comentado anteriormente. La interfaz de comunicación hombre/máquina juega un importante papel en la personalización de este sistema.

BIBLIOGRAFÍA

Aliseda-Llera, A. 1997. Seeking Explanations: Abduction in Logic, Philosophy of Science and Artificial Intelligence. Ph.D. Thesis, Institute for Logic, Language and Computation, Universiteit van Amsterdam.

De Arriaga, F., El Alami, M., Ugena A. 2001. Acceleration of the Transfer of Novices into Experts: the Problem of Decision Making, Proceedings International Conference BITE'01. pp-245-258, University of Eindhoven.

Castañeda, S., Martínez, R. 1999. Enseñanza y aprendizaje estratégicos: Modelo integral de evaluación e instrucción. En Revista Latina de Pensamiento y Lenguaje. 4:2B, 251-278.

Chopra, A.K. 1995. Dynamics of structures, theory and applications to earthquake engineering. Prentice Hall, Segunda Edición.

El Alami, M., F. de Arriaga, A. Ugena. 1997. SIMUL: Intelligent Simulation Environment for Interdisciplinary Project Work. In Proceedings Jubilee International Conference. Vol. II, pp. 53-60. Roskilde University.

El Alami, M. 1998. Entorno Inteligente de Simulación para el Aprendizaje. Tesis Doctoral (Tercer Ciclo) de la Universidad Politécnica de Madrid.

Elio, R. y P. Scharf. 1990. Modeling Novice-to-Expert Shifts in Problem-Solving Strategy and Knowledge Organization. Cognitive Science 14, 579-639.

Estévez-Nénninger E.H. 2002. Enseñar a Aprender: estrategias cognitivas. Colección Maestros y Enseñanza. (Ed.) Piados. México-Buenos Aires-Barcelona.

Forbus, K.D. 1984. Qualitative Process Theory. En Revista Artificial Intelligence. 24: 85-168.

Forrester, J. 1969. Urban Dynamics. M.I.T. Press, Cambridge.

Gentner D. y A. Stevens. 1983. Mental Models, Erlbaum.

Johnson-Laird, P. N. 1983. Mental Models. Cambridge: Cambridge University Press. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Johnson-Laird, P. N. 1988. The Computer and the Mind: An Introduction to Cognitive Science. Editorial Fontana.

Lanchester, F., 1990. La Comprensión de la Guerra: del Coronel T.N. Dupuy. Ediciones Ejército. Madrid.

Laureano, A. 1995. Herramientas para la Representación del Conocimiento en Sistemas con Inteligencia Artificial. Revista EN LINEA Universidad Autónoma Metropolitana. Vol. 1 Número 5, pp. 14-22. Azcapotzalco.

Laureano, A. y F. de Arriaga. 1998. El Análisis Cognitivo de Tareas: Una herramienta para modelar la conducta de los Sistemas de Enseñanza Inteligentes. En Revista Latina de Pensamiento y Lenguaje. Número Monográfico, 2B, del Volumen 4. Número dedicado a difundir avances tecnológicos sobre Cognición, Educación y Evaluación.

Laureano, A. y F. de Arriaga. 2000. Reactive Agent Design for Intelligent Tutoring Systems. En Cybernetics 28-29

and Systems (an International Journal). Vol. 31, pp. 1-47. ISSN: 0196-9722. (Ed). TAYLOR & FRANCIS.

Laureano, A., de Arriaga, F. y García-Alegre, M. 2001. Cognitive task analysis: a proposal to model reactive behaviours. En *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*. (13)(2001)227-239.

Laureano, A., de Arriaga, F. y Ramírez, J. 2002. Los Agentes Reactivos y La Lógica Borrosa: Herramientas para Modelar el Entorno de los Sistemas de Enseñanza Inteligentes. En *Memorias de la Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática, Sesión Invitada: Sistemas Tutoriales Inteligentes para Capacitación*. Vol. I, pp. 356-361. Orlando Florida-USA. 19-21 de julio.

Reeding, R.E. 1992. A standard procedure for conducting cognitive task analysis. ERIC. Documentation Reproduction Service .No. DE 340-847.

Ryder, J. M. and R. Redding. 1993. Integrating Cognitive Task Analysis into Instructional Systems Development. *Educational Technology Research & Development*. (ET&RD). Vol. 41, No. 2, pp 75-96.

Terán-Gilmore, A. 2002. Diseño por Desempeño: Antecedentes, Conceptos Generales y Perspectivas, Memorias del VII Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica (CD). Cuernavaca, México. 29 y 30 de noviembre.

Wild, M. 1996. Mental models and computer modelling. *Journal of Computer Assisted Learning*. Vol. 12, pp. 10-21.