

Integración de Modelos de Simulación y Conocimientos Técnicos de Sistemas de Buques en Guiones Expertos Multimedia

J. Terrón

e-mail: julio.terron@uca.es

C. Corrales

e-mail: carlos.corrales@uca.es

Facultad Ciencias Náuticas

C/Polígono Río San Pedro s/n

11510 Pto. Real. Cádiz

Tfno: 956/016124- 956/016000 Ext. 6544

Fax: 956/016126

J.L. Lozano*

e-mail: joseluis.lozano@uca.es

* Escuela Politécnica Superior de Algeciras

Universidad de Cádiz

Resumen

En este trabajo se presenta la experiencia educativa desarrollada en la asignatura “Metodologías de Análisis, Modelado y Planificación de Sistemas” tanto para la especialidad de Puente como de Máquinas en los estudios de la Facultad de Ciencias Náuticas. Se muestran algunos de los modelos matemáticos desarrollados de la dinámica de buques, modelos 3D realizados en realidad virtual, las experiencias de simulación realizadas y un uso más adecuado de las mismas, la organización y estructuración del conocimiento adquiridos mediante redes causales, modelos cualitativos, reglas expertas, diagramación, etc., y el proceso seguido por el alumno en su aprendizaje (por descubrimiento y significativo) correspondientes al moderno paradigma constructivista y cognitivo usados actualmente en educación.

Con objeto mostrar las actividades realizadas para provocar la integración de conocimientos, la creatividad y motivación en el alumno, el trabajo en grupo, y recaer la responsabilidad del aprendizaje en ellos, se presentan algunos ejemplos de los guiones expertos generados para fijar la experiencia, mediante las técnicas multimedia. Así mismo se muestra el planning de relación y uso de algunas herramientas como Mathcad, Vissim, Matlab, Autocad, Automation Studio, Ladview, realidad virtual para crear páginas web, tanto para generación de documentación (apuntes vivos) como para la formación a distancia correspondiente al moderno concepto de laboratorio virtual.

Palabras Clave: Conocimiento, aprendizaje, cognitivismo, constructivismo, control, modelado cualitativo y funcional, simulación, software, multimedia, formación a distancia, realidad virtual, diagnóstico, supervisión, interface HMI, sistemas expertos.

1 INTRODUCCIÓN

En nuestra labor docente, hemos constatado en nuestros alumnos en relación al conocimiento cuestiones como: deficiencias en la integración y estructuración de los conocimientos, ausencia de visión global, no saber enfocar lo relevante de un problema, dificultades para analizar y razonar desde diversas perspectivas. Para ello dentro de la escuela de aprendizaje constructivista y cognitiva [4], se presenta la metodología seguida en el llamado aprendizaje significativo y por descubrimiento, tratando de trasladar la responsabilidad del aprendizaje al propio alumno., dentro de un ambiente de clase creativo y motivacional.

2 CARACTERÍSTICAS PROFESIONALES DEL MARINO

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL TRABAJO

- Maneja y debe ser experto en múltiples sistemas complejos y de continua sofisticación tecnológica.
- Asignación de excesivas funciones y de diferente nivel.
- La reducción de personal provoca concentración de funciones, solapado de los modelos mentales de distintos campos de la tecnología.
- Labor de alto nivel de responsabilidad y de rapidez de respuesta en solitario ante los problemas.
- Necesidad de trabajar de forma coordinada en comunicación y formación a distancia desde tierra.
- Excesiva carga de trabajo a bordo que le impide disponer de tiempo para formación.[17]
- Necesidad de aprender a trabajar en grupo.(fig. 2)

2.2 NECESIDADES DE FORMACIÓN

De la gran cantidad de conocimientos y funciones (fig. 2) se deducen las siguientes necesidades de formación:

- Formación multidisciplinar experta y versátil.
- Integración de los conocimientos y modelos mentales de diferentes disciplinas.
- Flexibilidad de pensamiento y capacidad de análisis desde diferentes perspectivas.
- Poseer alto nivel de abstracción y conocimiento profundo del comportamiento de los sistemas.
- Seguridad de razonamientos, inferir hipótesis, toma rápidas de decisiones.
- Conocimientos de modernas técnicas de control, informática, supervisión de sistemas (fig. 1).



Fig. 1: Instalaciones técnicas de un buque moderno

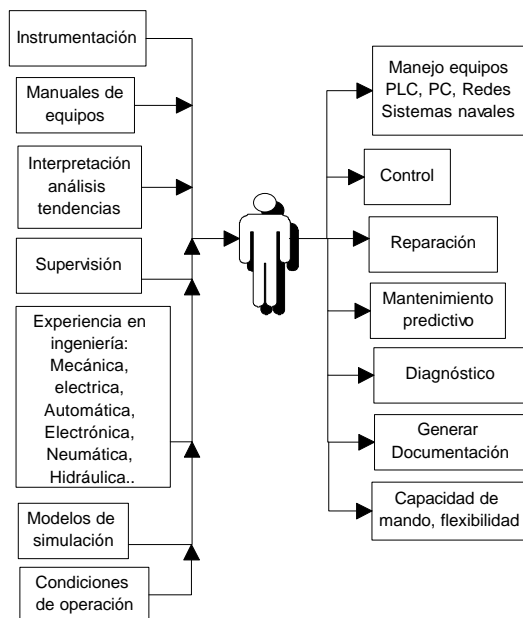


Figura 2: Conocimientos y funciones del marino

3. OBJETIVOS PERSEGUIDOS

El objetivo primordial es intentar conseguir que el marino de cualquier especialidad, sea lo más experto posible en su trabajo. Es decir que tengan las características siguientes [17]:

- Intuición basada en la experiencia para resolver problemas complejos.
- Usar modelos cuantitativo y cualitativos en su razonamiento.
- Expresar su conocimiento con relaciones causales.
- Poseer estructuras de conocimiento profundas y usar reglas heurísticas o atajos en la búsqueda de la solución.
- Ser flexibles y usar diferentes estrategias para diferentes problemas o situaciones. Como por ejemplo organizar una búsqueda selectiva de una avería, evitar lo innecesario, organizar jerárquicamente las funciones del sistema...

Para ello pensamos que una de las cosas más importantes en los últimos cursos de la carrera es *integrar, relacionar los conocimientos* de las diferentes asignaturas estudiadas en los cursos anteriores. Es de sobra conocido la importancia del modelado y la simulación, cuyo objeto es la comprensión más profunda del sistema, de la interrelación de parámetros fundamentales y la obtención de conocimiento experto. Hay cantidad de tipos de modelos y no solo los que usamos en las técnicas de control. En ese sentido proponemos introducir en las carreras una asignatura genérica que trate de temas de *modelado, metodologías de análisis, simulación, planificación*, en definitiva que sea un foro donde se intente que el alumno aprenda a aprender, a pensar, a sacar sus propias conclusiones.

En nuestra labor docente los conocimientos introducidos en nuestros apuntes o temas escritos que les entregamos, suelen ser son una mezcla intencionada de texto, fórmulas y gráficos de sistemas o de señales, y si son buenos deben llevar un guión dirigido a un objetivo y representar un proceso mental de cálculo o de exposición teórica.

Así mismo las simulaciones que usamos en el campo del control suelen estar orientadas a optimizar la señal de salida mediante las técnicas de control y por ejemplo, las programaciones visuales con Simulink© ofrecen unos diagramas de bloques orientados más bien a las operaciones matemáticas a realizar sobre las señales de entrada, para que produzcan unas salidas optimizadas. El conocimiento y el razonamiento capturado en estos modelos está más cerca del *proceso de cálculo* que del nivel humano de comprensión.

Por otro lado las interfaces técnicas de control y supervisión de los sistemas SCADAS tienen por objeto la representación del sistema para que el operador realice sin error la supervisión y control de la planta. Normalmente reproducen los planos de ingeniería e incorporan relojes digitales y analógicos de las variables fundamentales, en los lugares de medida. El razonamiento es de *operación* y la visión que presentan es la de funcionamiento es la de flujo de materia o energía del proceso[17]

Proponemos generar para el estudio del alumno, interfaces de presentación de la simulación basadas en mapas *conceptuales* y *modelos cualitativos* y que escondan los modelos matemáticos detrás, de forma que simulen las redes causa-efecto que relacionan las variables. El objeto es representar la forma de pensar del operador y que trate de cubrir los campos del mantenimiento y diagnóstico. Es decir ser capaz de representar de otra forma, de redescubrir, de aprovechar representaciones de otros campos, de imaginar soluciones nuevas, de producir conocimiento profundo, que en definitiva es el que permanece en la

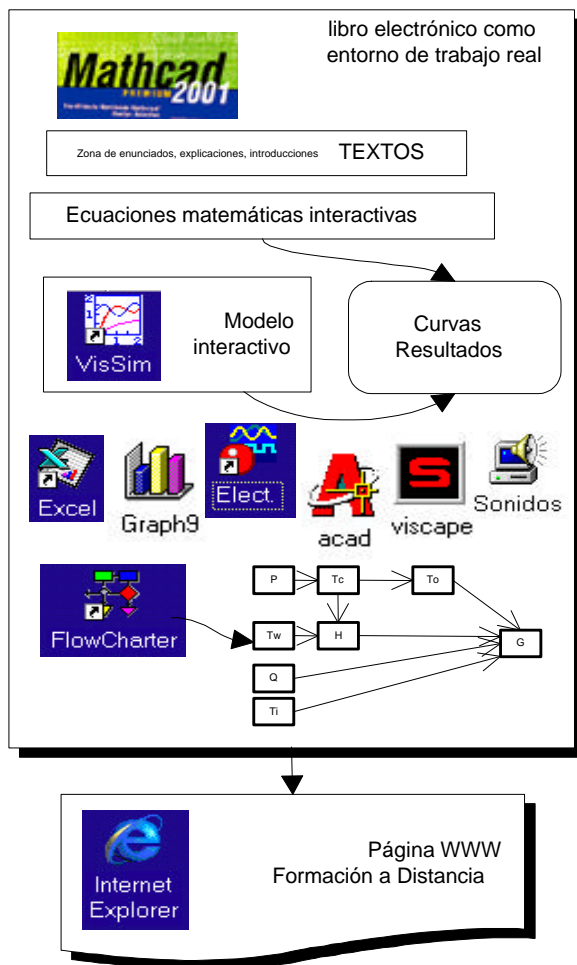


Figura 3: Integración de modelos en documento electrónico y en página Web.

memoria a largo plazo fijando la experiencia [17] Estas actividades propuestas, se ven actualmente facilitadas por las características de integración de simulaciones, fórmulas, gráficos que ofrecen las actuales herramientas de software como Mathcad© y Vissim©[20], Visio©[11] y que también facilitan la formación a distancia importante para el marino, por su posibilidad de integrarlo todo en una página Web en Internet con elementos multimedia.(fig 3) [14] [9].

En ese sentido, para aseverar estos argumentos, entresacamos de la propia publicidad de Matcad© lo siguiente: “El uso de Mathcad integra funcionalidades numéricas y simbólicas, y permite explorar problemas, formular ideas, analizar datos, modelar y chequear escenarios, determinar la mejor solución... y finalmente documentar, presentar y comunicar los resultados”. Así de lo que se trata de definir son estrategias de aprendizaje y compartir conocimientos.

3. ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

A continuación se resumen algunas de las actividades realizadas en clase:

- **Modelos matemáticos** del buque y elementos de gobierno del simulador de navegación [10] mediante programación visual orientada a objetos con Vissim©[20], Mathcad©[12], Matlab©. Para obtener un modelo matemático simplificado del buque (Fig. nº 4) se realizan pruebas en el simulador o en buques, tales como el test de espiral que sirve para determinar la relación no lineal entre el ángulo de timón y la velocidad de caída del buque (a) y (b). Para obtener la dinámica del movimiento de balance se mide su período natural y el efecto de las aletas estabilizadoras (d). A partir de los modelos de rumbo y balance (f) se puede simular el comportamiento del buque y ajustar los respectivos controladores.[3]

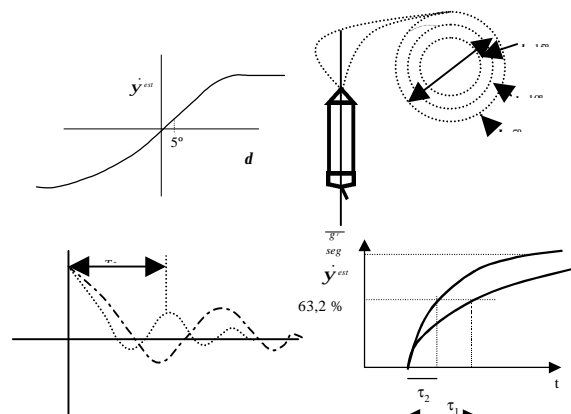


Figura 4: Experiencias de obtención de modelos del buque

Un ejemplo sencillo de lo anterior se ofrece en la Fig. nº 5 donde se representa el buque y la máquina timón. Inicialmente se parte de los modelos del buque con las siguientes hipótesis simplificadoras: “Buque de grandes dimensiones, a velocidad constante en mar abierto en calma (no perturbaciones) y con suficiente profundidad. En la maniobra las medidas de pala de timón no son grandes ni en magnitud ni tiempo de aplicación”.

Máquina Timón	$t_d \cdot \dot{d} + d = K_d \cdot d_c$ $ d < d_{max}$ $ \dot{d} < \dot{d}_{max}$	K_d : Ganancia d_c : Consigna ángulo timón d : Ángulo de timón
Rumbo del Buque	$t \cdot \dot{y} + y = K d$	K : Ganancia estacionaria t : Constante de tiempo
Controlador	$d_c = K_p \cdot e + K_I \int_0^t e \cdot dt + K_D \cdot \frac{de}{dt}$	K_p : Ganancia proporcional K_I : Constante integral K_D : Constante derivativa
Giroscópica	$t_g^2 \cdot \ddot{y}_m + 2x_g \cdot t_g \cdot \dot{y}_m + y_m = K_g \cdot y$	t_g : Constante de tiempo x_g : coeficiente de amortig. K_g : Ganancia estacionaria
Perturbaciones	d_i, d_o	vientos, olas, corrientes
Movimiento buque	$\frac{1}{w_f} \cdot \ddot{f} + 2x_f \cdot \frac{1}{w_f} \cdot \dot{f} + f = K_f \cdot a$	w_f : Frecuencia natural balanceo K_f : Ganancia balanceo

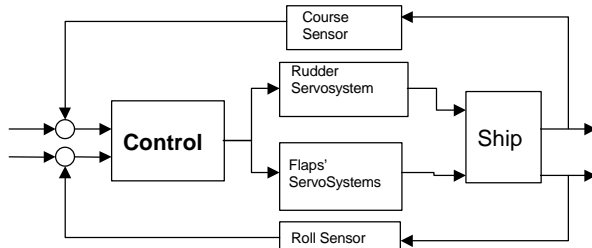


Figura 5: Diagrama de control para obtener los modelos

Una vez modelado, en simulación, por ejemplo, se plantea en clase ¿en que situación la capacidad de maniobra es mayor?. Para responder hay que usar unos parámetros que midan la maniobrabilidad de un buque (fig. 6,7) [18]

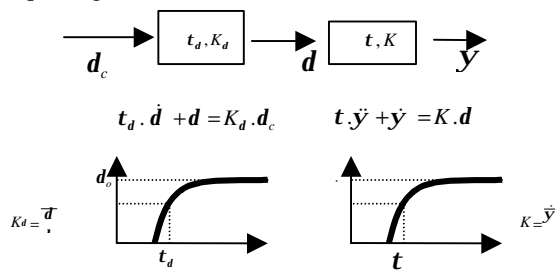


Figura 6: Modelos comparativos de maniobrabilidad de dos buques

Parámetro Nörbin $P_N = \frac{K}{t}$	K Ganancia t Cte tiempo
$D_o = \frac{2 \cdot V}{\dot{y}_{est}}$	$V =$ Veloc. avance \dot{y}_{est} Vel. angular

Regla experta: Más capacidad de maniobra a mayor $P_N \uparrow$ y menor $D_o \downarrow$

Lo importante una vez planteado los modelos, es hacer una simulación expresiva de cara a sacar experiencia relacionada con el mundo profesional.

- Modelos de electrónica analógica y digital mediante el simulador Electronics WorkWench© y relación con la imagen real del instrumento. Se persigue que el alumno relacione (ej: servotimón) su manejo, características y curvas técnicas, con el sentido de cambio de parámetros, comprendiendo su campo de actuación.

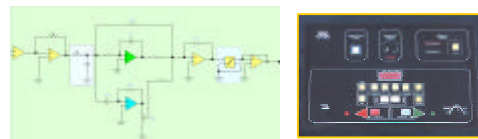


Figura 7 : Modelo electrónico de un PID y sistema real a bordo.

- Integración telescópica de modelos en diferentes niveles, con generación de interfaces HMI (Human Machine Interface) de apariencia real en cuanto a los aparatos y sistemas que integran el modelo. Las imágenes reales o virtuales de los sistemas son asignadas a los bloques funcionales del modelo.

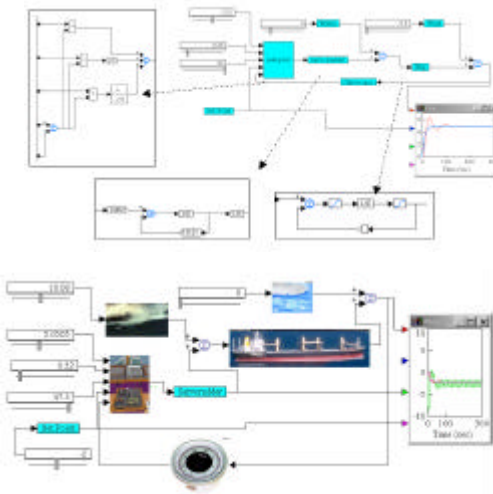


Figura 8 : Integración de modelos e interface HMI

Al final, todos los modelos se pueden integrar en una red causal con la simbología del análisis orientado a objetos (AOO), donde se comprenda las influencias y relaciones existentes entre los sistemas (fig. 9).[18]

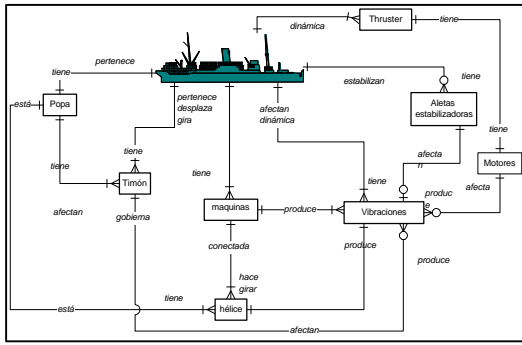


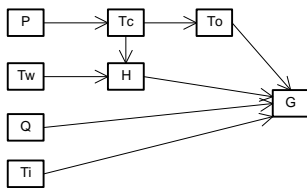
Figura 9: Red causal basada en AOO.

- **Búsqueda de información digital:** Es importante para obtener información, el uso de software demo, catálogos en CD-ROM de empresas y características en catálogos electrónicos de Internet. A veces este material es mucho más interesante y valioso que muchos libros.

-**Generación de representaciones cognitivas:** como esquemas funcionales jerarquizados, mapas semánticos, diagramas de bloques de estructura. redes causa-efecto, modelos cualitativos mediante el ABC FlowCharter Micrografx ©[11], Visio©....

- **Generación de modelos causales:** Se trata de inferir relaciones causales entre las variables desde un juego de ecuaciones matemáticas (ordenamiento causal [16]) Ejemplo: un evaporador que tiene las ecuaciones

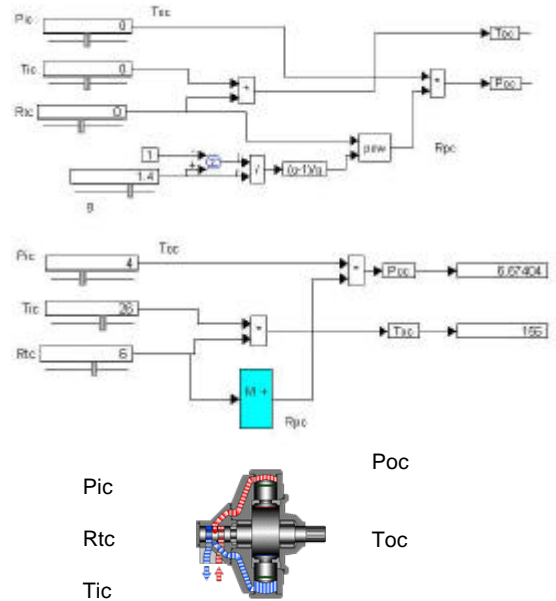
<p>Q : Flujo refrigerante T_1, T_0 : Temp. entrada, salida G : Relación vapor H : Calor ganado por refrigerante P : Presión refrigerante en serpentín T_c : Temp. condensación refrigerante T_w : Temp. aire en cámara refrigeración</p>	<p>$H = k (T_w - T_c)$ $H = G Q (T_w - T_0)$ $T_c = f_2 (P)$ $T_0 = T$ $T_1 = c$ $Q = c_2 \cdot P = c, T_w = c$</p>
---	--



- La T_c depende de P y la T_0 depende de T_c
- El calor H es determinado por T_c y T_w
- El % de vapor G depende de T_c, H, Q, T_1
- La presión P, el flujo Q, la T_1 , y la T_w son exógenas al sistema e independientes del evaporador.

El ordenamiento causal es importante porque permite un análisis modular y aísla las responsabilidades de cada variable y por tanto prepara al alumno a tareas de diagnóstico, predicción y modificaciones de diseño.

- **Modelos cualitativos:** Se trata de tomar ideas de los modelos cualitativos de Kuipers[7], Forbus, De Kleer para representar las simulaciones a "la manera



cualitativa", para que sean más expresivas para el conocimiento humano [17].

Potencia compresor = Flujo aire * rpm : $P_{otc} = G_{airec} * R_{pm}$
 Relación de presiones = (relación temperaturas)^{a-1} : $R_{pc} = R_{tc} \frac{g-1}{g}$
 Relación temperaturas : $R_{tc} = T_{oc}/T_{ic}$
 Relación presiones : $R_{pc} = P_{oc}/P_{ic}$

Figura 10 Modelo de un compresor e interface cualitativa semejante a la propuesta por Kuipers.

Regla experta cualitativa Si se mantiene cte. La relación R_{tc} de temperaturas, un incremento en T_{ic} implica un incremento en la temperatura de salida del compresor. [17]

Podemos utilizar siempre que se pueda, la agrupación de bloques de este modelado cualitativo es decir el bloque producto, monótono (+ o -), bloque suma, bloque derivativo, que nos ayude a ver las relaciones causales.

- **Uso de herramientas de sistemas expertos (Fclass©, Xpertrule©[22])** para fijar la experiencia y sacar conclusiones, donde se relacionen entre sí las posibles variaciones fuzzy (alto, medio, bajo, nulo timón) para producir resultados parecidos a la forma de expresar la experiencia del marino. Aunque son modelos sencillos, basados en reglas que producen árboles de decisión, lo interesante es que los crea el alumno a partir de las propias reglas encontradas, de los procesos estudiados.

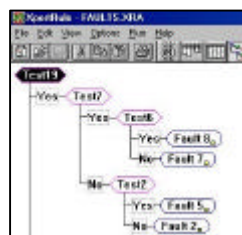


Figura 11: Shell de sistema experto Xpertrule[22]

- **Estudio de las instalaciones desde todas las perspectivas técnicas que entran en juego:** Un ejemplo sería el de instalaciones de la sala de máquinas de un buque y sus esquemas de control para modelar y simular la instalación neumática (2), hidráulica, los esquemas unifilares de alimentación y protección de los motores, válvulas, el Graficet de automatización(1), el logigramas de control (1) la electrónica necesaria e integrarla mediante herramienta software Automation Studio©[1] Además se van personalizando las librerías a temas navales (fig. 13).

En el control de depósitos de fuel desarrollado de un buque[5], los alumnos crearon la maqueta del proceso, simularon todos los esquemas anteriormente mencionados (fig. 12) teniendo en cuenta todas las posibilidades analizadas con el GEMMA [2], y crearon la interface hombre máquina HMI. El objeto es trabajar en algo al completo y que forme una unidad de diseño. A su vez estos modelos y sistemas automáticos controlan al proceso real mediante una tarjeta interface generándose un Soft PLC o controlan a un PLC. (fig. 14)

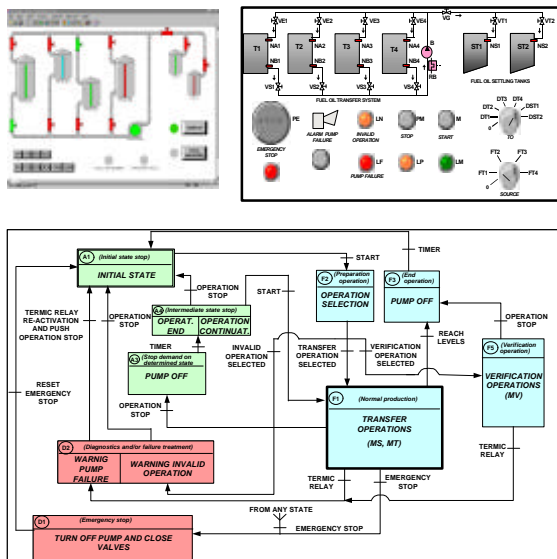


Fig 12: Control nivel depósitos de un buque

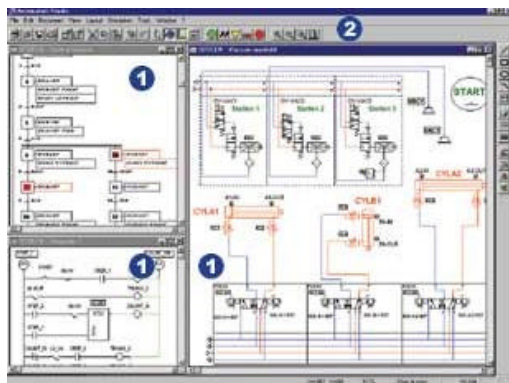


Figura 13: Integración esquemas. Automation Studio

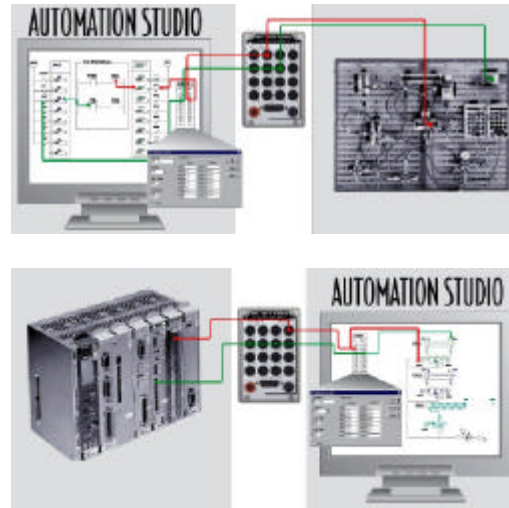


Figura 14: Posibilidades de control de procesos con Soft PLC[1]

- **Modelos 3D en realidad virtual** mediante herramientas como Superscape©[21] y Truespace Caligari© que se relacionan mutuamente sus modelos a través de ficheros de extensión vrml (virtual reality model language), a los cuales se le añade la programación de la dinámica de comportamiento. Estos modelos se pueden integrar con el 3D Webmaster© en una página Web y visualizarlos con el plugin Viscape© en un navegador como el Internet Explorer.



Figura 15: Modelado dinámico de un buque y sala de control de puente con visualizador Viscape.

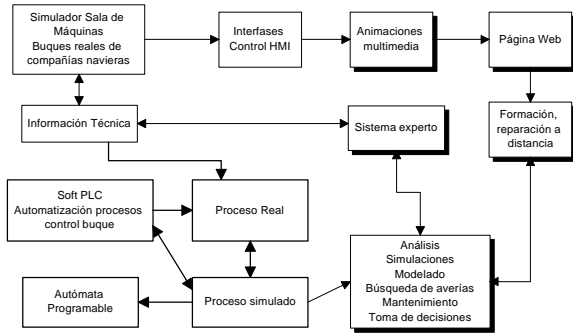


Figura 16: Integración de modelos y relación de actividades

En el diagrama de bloques se da una visión global de las interrelaciones de los modelos, simulaciones y la integración final producida en los trabajos que se realizan. En este sentido del manejo de los simuladores reales, de las experiencias de embarque de los alumnos a bordo de buques y de trabajos fin de carrera realizados en diferentes asignaturas, se toma la experiencia e información técnica necesaria para los modelos y sistemas a estudiar. El uso adecuado de la simulación produce las reglas expertas fuzzy que se introducen en un shell de generación de un sencillo sistema experto. Los procesos reales se gobiernan y controlan vía tarjeta de adquisición de datos mediante el software Vissim Real Time (fig. 17), o bien a través de Automatio Studio con autómata programable (fig. 14). En las instalaciones donde intervengan varias tecnologías (eléctrica, neumática, hidráulica, automática) se usa una herramienta que permite modelar, simular, integrar y controlar el proceso en una especie de Soft PLC. A su vez el proceso simulado puede convertirse en proceso real para ser controlado.

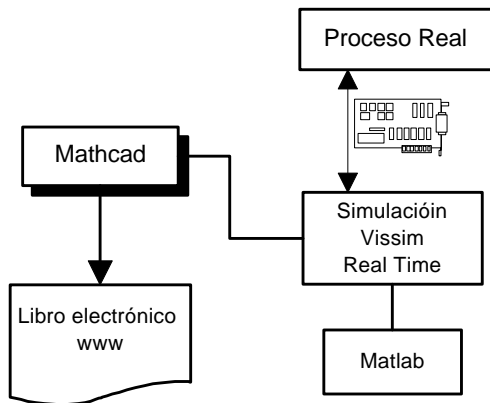


Figura 17: Control de procesos con Vissim Real Time

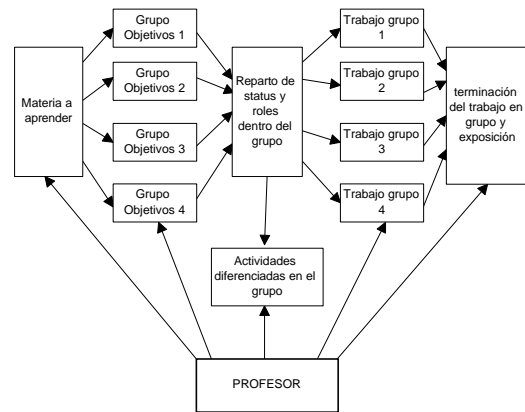


Figura 18: Misión del profesor y grupos de trabajo.

En estas actividades de cursos finales de carrera, la figura del profesor aparte de la de formador (aprovechando los conocimientos que disponen los alumnos), puede pasar a ser la de un dinamizador, motivador, facilitador, coordinador, organizador, generador de sinergias, labores todas que potencian el autotrendizaje [17]. Lo importante es que el alumno trabaje en un proceso creativo, se enamore de lo que hace y salga proactivo, es decir con ganas de aplicar sus conocimientos [13] y no reactivo a la tecnología. Al final cada grupo expone su trabajo y se integra en un todo relacionado en página web [16] siempre que sea posible, generando las memorias necesarias. El trabajo de cada grupo[8] se convierte en material de trabajo para otros y cada año se parte del estado del arte del trabajo realizado el año anterior.

4 CONCLUSIONES

Aunque no se dispone de una estadística de resultados comparativos, solo de encuestas de satisfacción en el alumnado, creemos que es interesante que exista una asignatura genérica de modelado y simulación y análisis de sistemas y dispositivos, que ayudan a integrar el conocimiento en el alumno de las distintas disciplinas, y la comprensión más profunda de significados y relaciones, preparando para ejercer labores no solo de diseño, sino de diagnóstico, mantenimiento, toma de decisiones, análisis de hipótesis. Así mismo constituye un foro abierto de motivación y creatividad para los alumnos.

Las técnicas de representación del conocimiento experto junto a la multimedia permiten crear esquemas cognitivos que ayudan a fijar la experiencia y el razonamiento.

La utilización conjunta de las herramientas informáticas presentadas para el modelado, simulación, diseño, control automático, los simuladores comerciales, la esquematización, potencian las actividades indicadas anteriormente y su inclusión en páginas WWW como libros electrónicos preparan la formación a distancia a través de Internet. El reparto de trabajos por grupos y asignación de tareas unas comunes (modelos, simulaciones..) y otras específicas, compartir información, ayudan a la aceptación de la propia responsabilidad del alumno en su proceso de aprendizaje y a trabajar en grupo. Las frecuentes puestas en común con discusión de los resultados obtenidos y de búsqueda de las hipótesis más plausibles, potencian la seguridad de expresión en el alumno, el compartir información, y el convencimiento de que el grupo es más potente que la persona aislada.

Referencias

- [1] *Automation Studio. Families Technologies 2000.*
- [2] Carbonneau E. 1991. *Le GRAFCET et le GEMMA sus les Automates Programmables.* Sept-Iles, Quebec: ECS Editions.
- [3] A. G. Consegliere, M.J.López, 1995, *Modelling, Simulation and Control of Ship*, Universidad de Cádiz Facultad de Ciencias Náuticas.
- [4] G. M. Criado, 1991, *Cognitive Model of Creative Stimulation*, Vicens Vives, Manual of Creativity, Learnings Applications, Barcelona, Spain.
- [5] C. Corrales , J. Terrón , C. Sanz *Automation of Fuel Transfer System in Vessel.* , Facultad de Ciencias Náuticas. 2º International Congress on Maritime Technological Innovations and Research, 2000.
- [6] G. Guida *Reasoning about Physical System: Shallow versus Deep Models*, Department of Electronics, Milan Politechnic, Italy (1991).
- [7] B. Kuipers, *Commonsense Reasoning about Causality: Deriving Behaviour from Structure*, Elsevier Publisher Nort Holland (1984).
- [8] R.M. Ibañez, *Técnica grupal, Manual de Creatividad. Aplicaciones Educativas*, Vicens Vives, pp.278-289, Barcelona, (1991).
- [9] P.S. Katsoulakos, *Advanced Ship Performance Information System*, IMAS, 227-236, London.
- [10] M. J. López, J.Terrón,1992, *Modelling and Simulation by Computer*, ICE, Cádiz
- [11] Micrografx, 1993, *ABC FlowCharter User Guide*, Texas,USA.<http://www.micrografx.com>
<http://www.microsoft.com/office/visio/>
- [12] Mathcad Solutions, Software, Addlink.
<http://www.addlink.es>
- [13]J.D. Novak, D. Bob Gowin, 1998, *Learning to Learning*, Martínez Roca, Barcelona.
- [14]A. Rodriguez, 1994, *The Multimedia about a new learning system*, First Congress of New Technologies Applied to Formation, Universidad Politécnica , Madrid.
- [15] T. Ruxton, 1990, *Information Engineering for Ship Operation in Maritime Communications and Control*, IMER, 165-171, London.
- [16] G. R. Snaith, *New Systems for use in Managing Operational Documents of Ships and platforms, Maritime Communications and Control*, IMER, pp. 165-171, London, Nov 1990.
- [17] J. Terrón, 1995, Tesis Doctoral *Metodologías de aprendizaje basadas en el conocimiento experto y la hipermedia. Aplicaciones navales*, Universidad de Cádiz.
- [18] J. Terrón, M.J. López, C.Corrales, *Modelling, Simulation and Multimedia Techniques an Steering Integrated Learning in Navigation*, Facultad de Ciencias Náuticas. 2º International Congress on Maritime Technological Innovations and Research, 2000.
- [19] S. Turner, 1991, *Creativity: Models, Methods, and Tools*, IEEE Expert Intelligent System and their Applications, pp. 67-68.
- [20] Visual Solutions, 1993, *Software Vissim User Guide*, USA. <http://www.addlink.es>
- [21] Virtual Reality Superscape Solutions, Viscap, 3D Webmaster. <http://www.superscape.com/>
- [22]Xpertrule Knowledge Builder. Attar Software Limited. U.K. <http://www.attar.com>