

# ***Integración de un sistema simulador en el entrenamiento de habilidades perceptivo-motrices propias de la estiba y desestiba portuaria.***

**Antonio LUCAS ALBA**  
**Rafael GARCIA ROS**  
**Pedro M. VALERO MORA**  
**Ariadna FUERTES SEDER**  
*Universidad de Valencia*

## ***Resumen***

El empleo de simuladores ofrece ventajas cada vez más evidentes, especialmente en la formación y el entrenamiento de operarios de maquinaria cara y peligrosa, como es el caso de la estiba y desestiba portuaria con grúas pórtico. Sin embargo, son pocos los programas de instrucción con simuladores que sacan partido de las ventajas de esta tecnología debido a la complejidad de la síntesis y la organización de los contenidos de estos programas. Un extenso análisis de tareas y del conocimiento experto constituye el paso inicial en el proceso de desarrollo de tales programas y también permite la evaluación de la fidelidad del sistema simulador, complemento indispensable del desarrollo del diseño instruccional. De esa manera, y aplicando el modelo 4CID (Van Merriënboer, 1997), se ha definido la macroestructura del diseño de instrucción que considera, en principio, ocho módulos de enseñanza diferenciados, cada uno de ellos dirigido a entrenar habilidades complementarias.

***Palabras clave:*** simulación, diseño instruccional, análisis de tareas.

---

***Dirección del primer autor:*** Instituto Universitario de Tráfico y Seguridad Vial. c/ Hugo de Moncada, 8; entlo. Izda. 46009 Valencia. ***Correo electrónico:*** Antonio.Lucas-Alba@uv.es  
Antonio Lucas es psicólogo del Instituto de Robótica y del Instituto Universitario de Tráfico y Seguridad Vial (INTRAS), Rafael García-Ros y Pedro M. Valero son profesores en la Facultad de Psicología de la Universidad de Valencia y miembros del INTRAS y Ariadna Fuertes es profesora ayudante en la misma Facultad y miembro del Instituto de Robótica.

*Abstract*

The advantages offered by the use of simulators are self evident specially when, as it is the case of container-handling crane manipulation, it involves training operators for machines so expensive and dangerous. Nevertheless, and probably due to the difficulties inherent to the complex integration of its contents, there are few instructional programs assisted by simulators that make the most of the advantages they provide. In our view, performing both a task and an expert knowledge analysis is the first requisite towards the development of such programs. Once gathered, that information should contribute a great deal to evaluate the simulator's fidelity, which in turn is an essential complement of the instructional design development. Following this procedure, and applying the 4ICD Model (Van Merriënboer, 1997), the instructional design macrostructure has been defined, taking into consideration eight different learning modules for the training of complementary skills.

*Keywords:* simulation, instructional designs, task analysis.

Los seres humanos se hallan muy bien adaptados a su entorno, entre otras razones gracias a su capacidad para analizar y abstraer la realidad, y para anticipar el momento de la acción. La tecnología multimedia interactiva ofrece la posibilidad de anticipar determinada realidad y prepararse para actuar en ella a través del uso de todo tipo de simuladores, extendiendo estas capacidades humanas y proporcionando una serie de ventajas adicionales. En primer lugar se gana en seguridad, en especial cuando, como es el caso, ciertas acciones en la vida real conllevan un alto riesgo. En segundo lugar la simulación presenta ventajas considerables para el aprendizaje y la formación, sin duda uno de los factores en los que la simulación tiene el mayor potencial. Si se diseña adecuadamente, la simulación puede enriquecer el proceso de instrucción y aprendizaje dado que permite repetir, practicar movimientos u operaciones especiales o poco habituales, y también provocar, afrontar y corregir fallos, etc. Por último, el uso de simuladores evita los cortes en la productividad, por lo que puede resultar económicamente rentable, algo

imprescindible en nuestra época, tan celosa de la maximización de la eficiencia (Ritzer, 1996).

El empleo de simuladores permite evitar los costes y riesgos de acceder al sistema real debido a razones complementarias a la producción, tales como la evaluación, la formación, y el entrenamiento del personal. En definitiva, la simulación y el uso de simuladores permite a los aprendices experimentar situaciones que pueden ser peligrosas y/o costosas, o bien ocurrir demasiado rápida o lentamente (p.e., Wager y cols., 1989) y, dado el alto nivel de interactividad que proporcionan estas herramientas, el aprendiz puede experimentar, descubrir relaciones y/o probar su precisión en la aplicación de reglas y estrategias de solución de problemas en el desempeño de tareas.

La simulación también puede presentar algunos inconvenientes que surgen fundamentalmente de la incapacidad de sacar partido de sus potencialidades. Para empezar, la simulación suele requerir una tecnología cara, si bien no es este el inconveniente principal en nuestros días, dada la

velocidad del desarrollo tecnológico e industrial y el progresivo abaratamiento de los componentes informáticos. En realidad, el simulador nos parecerá caro siempre que resulte inútil, es decir, cuando su uso no nos permita aprender a hacer frente a la realidad prevista, cuando no contribuya a generar los modelos de comportamiento necesarios para afrontar la tarea. En este trabajo nos centraremos en dos de las principales razones que pueden facilitar/dificultar el aprendizaje a través del uso de sistemas simuladores (Towne, 1995): (1) la fidelidad del simulador y, (2) las características del diseño de instrucción o, en términos menos académicos, el plan de formación en que se integra. De esta manera, dos de los problemas que cabe plantearse son:

- a) Que el simulador reproduzca el conjunto fundamental de variables del sistema real. La investigación constata que en numerosas ocasiones una fidelidad deficiente en algunas de las dimensiones fundamentales del simulador impedirá la práctica de las acciones (perceptivas, motoras, etc.) que facilitan el aprendizaje y la transferencia del aprendizaje al sistema real. Es el problema de la fidelidad del simulador (Alessi, 1988).
- b) Que el diseño instruccional facilite el aprendizaje de los parámetros fundamentales de la ejecución de la tarea. Es un problema complejo que se deriva de las dinámicas propias de los procesos de aprendizaje y del diseño de los componentes instruccionales a implementar e incorporar. Paradójicamente, los estadios iniciales de aprendizaje no requieren necesariamente una fidelidad que re-

produzca a la perfección el entorno y las características de la tarea, y lo que es más, ésta puede ser poco aconsejable. Es el problema de implementar diseños de instrucción en simuladores.

En el diseño e integración de un simulador para entrenamiento ambos factores son importantes y deben considerarse adecuadamente si pretendemos obtener todo el potencial de esta herramienta instruccional. Por lo general, se presta más atención a la fidelidad del simulador que a su capacidad como medio instruccional. La dificultad de integrar los componentes instruccionales en el diseño y la utilización de simuladores en la formación, la necesidad de utilizar modelos de diseño y desarrollo instruccional poco secuenciales y estructurados, junto a la exigencia de efectuar un cuidadoso análisis de tareas y determinar el conocimiento experto al que se debe dar respuesta en el proceso de instrucción, ha llevado a que los simuladores hayan sido normalmente dirigidos más a la práctica de habilidades que a la instrucción, disminuyendo notoriamente su potencial y efectividad como instrumento de aprendizaje.

Aunque siempre se podrá argumentar que un aprendiz mejorará sus niveles de ejecución simplemente observando y practicando con una simulación de propósito general, sin considerar explícitamente los componentes mencionados, es evidente que proceder así supone no rentabilizar el potencial del simulador para la enseñanza. Por otra parte, se podría señalar que disponer de un instructor que proporcione la función formativa y de enseñanza que no facilita la simulación por sí misma podría mejorar los resultados que proporciona la

práctica, pero esta perspectiva todavía supone un planteamiento de la enseñanza que no rentabiliza la potencialidad de la herramienta, que podremos conseguir tras (a) un minucioso análisis y jerarquización de las habilidades implicadas en la tarea, (b) una adecuada secuencialización de las prácticas a efectuar y de la información que se ha de proporcionar al sujeto, y (c) el establecimiento de una serie de criterios de evaluación sobre el aprendizaje del sujeto.

La figura 1 resume las tareas fundamentales implicadas en el desarrollo del diseño de instrucción que se expondrá con mayor detenimiento en las páginas siguientes. Como vemos, el diseño parte del análisis previo de tareas, adoptando, entre las alternativas que ofrece la investigación, una perspectiva que enfatiza el desarrollo y la secuencialización de prácticas con tareas realistas, no triviales y con pleno significado en sí mismas. El análisis de tareas tiene una finalidad doble: por un lado, permite documentarse sobre las características generales de la tarea con vistas al desarrollo del programa instruccional y, por otro lado, constituye una de las bases de información a partir de la cual se evaluará

la fidelidad del sistema simulador (en combinación con el juicio de los expertos y la observación del desempeño de tareas). Por otra parte, llevar a cabo un análisis del conocimiento experto es fundamental por una serie de motivos. En primer lugar, da a conocer el nivel de respuesta mínimo que debe exigirse al simulador, o si se prefiere, contribuye a la evaluación de la fidelidad mínima necesaria para llevar a cabo la tarea al máximo nivel. Además, el análisis del conocimiento experto nos proporciona información relativa a la ejecución de la tarea (partiendo del supuesto de un conocimiento y práctica óptimos por parte del experto). Por último, gracias a su experiencia, el experto nos ofrece conocimiento específico sobre las situaciones atípicas y las excepciones en el procedimiento habitual en la tarea. También ayuda a identificar más fácilmente los errores y las soluciones que se suelen proporcionar a los mismos. En suma, el papel de los expertos ha sido clave. Siguiendo de manera preceptiva los principios generales de la "evaluación cooperativa" (véase, por ejemplo, Monk, Wright, Haber y Davenport, 1993), hemos extendido su esencia allí donde ha



Figura 1. Síntesis del proceso de elaboración del diseño instruccional.

sido posible, procurando (a) que los expertos nos ayudasen a conocer la tarea, (b) que nos diesen su opinión sobre las posibilidades de la integración del simulador en el plan integral de formación, y (c) que nos asesorasen sobre la pertinencia de las prácticas diseñadas para el simulador y de su secuencialización, implementación y estructura en el diseño.

Se han seguido dos criterios generales en la elaboración del diseño de instrucción con el simulador de grúa pórtico, cuya estructura progresa siempre (a) de lo simple a lo complejo y (b) de lo general a lo particular (Reigeluth y Stein, 1983; Reigeluth y Curtis, 1987). En tareas como la estiba y la desestiba portuaria en la que la dificultad de la tarea, y el conocimiento necesario para llevarla a cabo, se ven determinados tanto por los objetivos del usuario como por el contexto en el que se opera, el aprendizaje de la tarea puede facilitarse simplificando el contexto de aprendizaje. Partimos del supuesto de que la madurez del aprendiz determina el nivel de fidelidad del dispositivo (simulador) aprovechable para aprender. Por lo general, la dificultad de la estiba y la desestiba viene determinada por la simultaneidad en la aparición de una serie de condiciones y estímulos y por la complejidad en la interpretación y la respuesta que estos estímulos requieren. Se trata de procesos de representación-acción, en los que la conducta se deriva tanto de los objetivos del usuario como de las condiciones impuestas por el contexto en el que se opera (Monk, 1998).

La fidelidad disponible y los requerimientos instruccionales se complementan. Si el aprovechamiento de la fidelidad depende de la madurez de las estructuras del aprendiz, de su capacidad para sacar parti-

do de la información disponible en la simulación, la fidelidad del simulador puede y, probablemente, debe verse recortada en los inicios de la formación de tales estructuras. Por tanto, en estadios iniciales de entrenamiento la fidelidad no es lo fundamental y que debe ser sacrificada en aras de la optimización del desarrollo del aprendizaje. Sin embargo, esto no significa que el realismo de la simulación no sea importante. Podemos decir que la importancia de contar con un "buen simulador" aumenta conforme se produce la adquisición de las capacidades que habilitan al aprendiz a la ejecución de la tarea real. Por ello, siempre llegará un momento en el que contar con la máxima fidelidad sea enteramente pertinente y, llegado este punto, será necesario disponer de algún procedimiento para evaluarla.

En este artículo vamos a presentar el trabajo realizado con el Sistema Simulador orientado a la evaluación y el entrenamiento de los operarios del sector de estiba y desestiba que se está utilizando, a través del departamento de formación de SEVASA (Sociedad Estatal de Estiba y Desestiba del Puerto de Valencia), en el Puerto de Valencia. El objetivo de este trabajo es doble y se centra en los dos problemas, fidelidad y diseños de instrucción, anteriormente enunciados. En primer lugar, expondremos brevemente el método seguido para evaluar la fidelidad en simuladores (MEVAFIS). En segundo lugar, presentaremos la concepción y el diseño de instrucción que soporta el simulador.

### **El problema de la fidelidad**

En el momento actual, uno de los objetivos fundamentales en la construcción de

simuladores consiste en lograr la máxima fidelidad posible para el dispositivo que, como hemos dicho, consiste en reproducir las condiciones perceptivas, motoras, dinámicas, etc., que el usuario encontraría en la realidad. Un buen simulador es un simulador fiel a la realidad, de esto no cabe duda. Obviamente, para lograr una simulación fiel necesitamos disponer de los recursos técnicos adecuados para reproducir las variables del sistema real. No obstante, conviene no olvidar que también el proceso de selección de tales variables es de una importancia trascendental.

### **Planteamiento general de la simulación**

En su sentido técnico habitual, cuando hablamos de simulación, nos referimos básicamente al empleo de un modelo particular utilizado con el objetivo de obtener conclusiones acerca de un sistema del mundo real (McHaney, 1991). El modelo deberá involucrar todas las variables y/o factores que, mediante ecuaciones y algoritmos, consigan que el sistema evolucione de manera similar al real a través del tiempo.

Recordemos las diferencias existentes entre sistema simulador, sistema simulado y sistema real. Como muestra la figura 2 (Bayarri, 1995), el sistema simulado (subconjunto del sistema real) en realidad no es más que el compendio de variables o factores reales que tomaremos en consideración para construir el sistema simulador. Se trata de que este último refleje o simule dichos factores con el mayor realismo posible.

En cualquier simulación que se realice de un proceso físico real, siempre arrastraremos un número finito de variables que no tendremos en consideración principalmente por dos razones: la primera, que el coste de su inclusión en el modelo es elevado y, la segunda, que su repercusión o importancia en el mismo es mínima. Por ejemplo, a la hora de simular el movimiento humano sería plausible considerar el movimiento de la masa muscular respecto al hueso, pero no se tiene en cuenta por lo costoso que resultaría a nivel computacional y por la escasa influencia que tendría en el resultado final. Por tanto, debemos considerar siempre cualquier simulador como

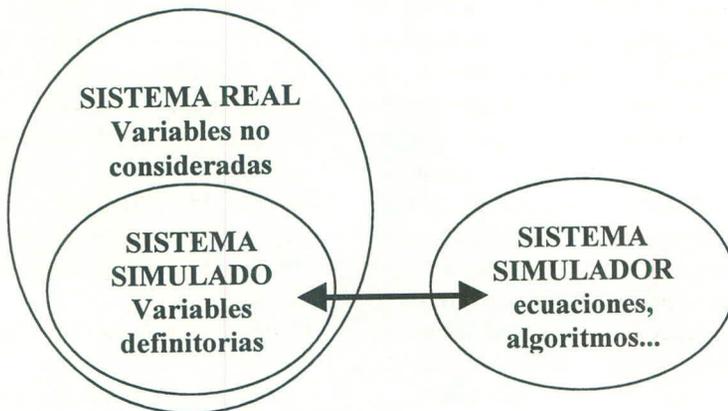


Figura 2. Planteamiento general de la simulación.

una aproximación al sistema real, y nunca como el sistema real propiamente dicho. Como ya hemos visto, esto tiene sus ventajas y sus inconvenientes y, lógicamente, los sistemas simuladores explotarán dichas ventajas haciendo que su uso llegue a ser, bajo determinadas condiciones, más aconsejable y útil que el uso del sistema real.

Un sistema simulador puede ofrecer distintos tipos de interfaz con el usuario, tratando de reproducir distintos niveles de realismo. Podemos emplear sistemas simuladores simples, partiendo de una pantalla de ordenador y un teclado o, a lo sumo, emplear una palanca de juego (*joystick*).

Con las posibilidades técnicas actuales ya es posible incluir todos los elementos necesarios dentro de un entorno de realidad virtual con ayuda de cascos y sensores, etc. El Sistema Simulador de grúa pórtico empleado en nuestro trabajo parte de una reproducción realista de los componentes manipulables (mandos, cabina, paneles, etc.). La estructura del sistema simulador se define a partir de tres módulos: el módulo de visualización y sonido, el de simulación mecánica y el módulo de sensorización y control de la plataforma. La figura 3 muestra una síntesis del simulador, recogiendo la disposición de todos sus componentes.

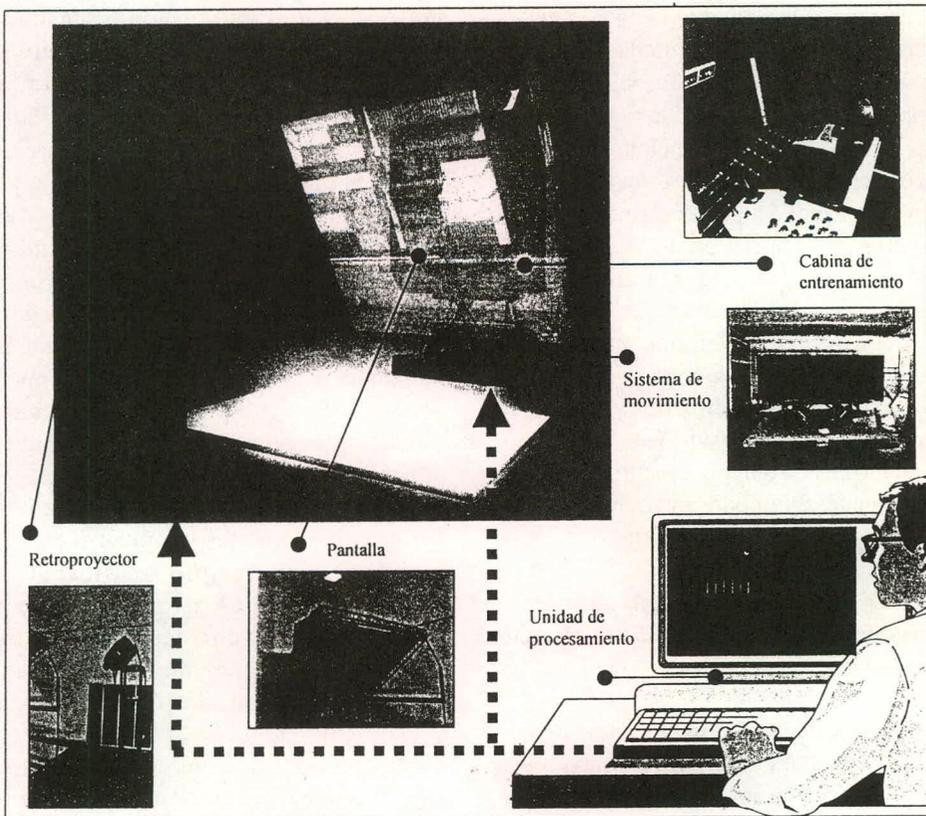


Figura 3. Síntesis gráfica del simulador.

***El análisis de tareas y el problema de la fidelidad. La selección de las variables y la pérdida de elementos.***

El proceso mediante el que se determina el grado de ajuste entre simulador y realidad es un aspecto clave en el desarrollo del simulador. La consecución de un buen ajuste debe considerar, entre otros, la visualización (formas, texturas, colores, etc.), la fidelidad y proporción en los tamaños (distancias relativas, profundidad, longitudes, etc.), las sensaciones táctiles y auditivas (grado de resistencia y presión de los mandos, respuestas a movimientos bruscos, reproducción de sonidos característicos, etc.) y también dinámicas (sensación de movimiento, velocidad y continuidad de la presentación, etc.). Con todo, un simulador no es más que un modelo de la realidad: aún considerando multitud de elementos no se van a reproducir todos los aspectos la situación real, así que algunos elementos van a ser perdidos. Con esta pérdida nos arriesgamos a convertir las tareas realizadas en el simulador en algo diferente a las tareas reales. Lógicamente, si han sido alterados determinados aspectos de la realidad, que son clave para la realización de las tareas, el simulador quedará desvirtuado. Éste es un momento crítico del proceso de diseño en el que es necesario poder evaluar hasta qué punto es seria esa discrepancia.

***MEVAFIS: una metodología para la evaluación de la fidelidad de un sistema simulador.***

Para evaluar esta discrepancia hemos dispuesto una metodología de trabajo a la que hemos denominado MEVAFIS (Método para la EVALUACIÓN de la FIDELIDAD en Simuladores) y que implica varias accio-

nes para evaluar la importancia de la pérdida de fidelidad de un simulador que presentaremos a continuación.

***Modelos conceptuales: el diseñador y el usuario.***

La idea que preside esta metodología parte de la importancia otorgada al efecto de los modelos conceptuales que implícita, o explícitamente, actúan sobre el diseño y la elaboración de un sistema simulador. Los seres humanos, con su capacidad limitada para el procesamiento de la información que ofrece el entorno (Fiske y Taylor, 1991), atienden a un conjunto limitado de variables, creando así un modelo determinado de su entorno. En verdad, puede haber tantos modelos de un contexto dado como personas atienden al mismo. Dos tipos de persona son de especial interés aquí: el diseñador del sistema y el usuario del sistema. Como hemos podido ver, la figura 1 presenta dos pasos fundamentales del trabajo del diseñador: la selección de un conjunto de variables definitorias y su presentación en el sistema simulador. El primer paso depende, por lo general, del sentido común del diseñador del sistema (Kieras, 1991). El segundo depende de sus posibilidades técnicas. El primer paso suele llevarse a cabo mediante procedimientos que permiten “copiar la realidad” (por ejemplo, empleando un vídeo o cámaras fotográficas). De esta manera el diseñador, puede dedicar el tiempo que considere oportuno para observar en su laboratorio el contexto físico y el desempeño de la tarea tantas veces como precise. Entonces elegirá los detalles que le parezcan imprescindibles y pasará al segundo paso: modelado a través de ecuaciones y algoritmos, etc. En sínte-

sis: primero decide *qué* se modela y entonces empieza a pensar *cómo*.

La cuestión es si el diseñador, que básicamente desconoce la tarea, puede asumir que ha elegido reproducir todos los factores necesarios y pertinentes para la misma. El diseñador, en última instancia, pone en juego una serie de modelos conceptuales, modelos mentales (Norman, 1990), más o menos afortunados y más o menos evidentes a la luz de lo que, por ejemplo el vídeo y su sentido común, le indican. Sin embargo, por lo general su percepción y sus sistemas de representación no están educados para hacer la tarea. Pensemos en la diferencia entre el lego y el experto en la construcción. Precisamente esta sensibilidad sobre el contexto pertinente es lo que diferencia a un experto de un lego. Donde el lego no ve nada de particular, dejándose llevar por la impresión del conjunto o atendiendo a los detalles más obvios, el profesional ve un fallo de pintura, una ventana o un interruptor torcidos, un muro defectuoso, etc. Lo más normal es que el diseñador carezca de ese conocimiento sobre la realidad de la tarea y que no vea las cosas como otros -por ejemplo, los usuarios expertos- las ven, por lo que puede incurrir en errores de selección importantes. Desde nuestro punto de vista es de la máxima importancia conocer los modelos conceptuales del usuario experto que desempeña la tarea en el contexto real, y no centrarnos sólo en reproducir la apariencia externa del contexto de la tarea mediante el empleo de grabaciones en distintos soportes (fotografías, vídeo, etc.).

### **Los pasos en MEVAFIS**

El principio organizador de esta metodología parte del convencimiento de que es

posible mejorar la representación que ofrece un simulador, completando la información que se dispone durante el proceso de selección de las variables que estructurarán el sistema simulador. Los pasos que articulan MEVAFIS son:

1. Llevar a cabo un análisis pormenorizado de tareas que permita hacer una abstracción de las características esenciales de las mismas (fase por otro lado común a la elaboración del diseño instruccional).
2. Elaborar una descripción formal de las tareas, quedando así registrado el resultado de la observación y el análisis anterior.
3. Llevar a cabo una comparación entre la descripción elaborada y el simulador.

### ***Paso 1. El análisis de tareas***

El paso preliminar para conocer los modelos conceptuales del usuario que desempeña la tarea en el contexto real, es la observación. La obtención y la sistematización de la información necesaria para contrastar la fidelidad del simulador requieren una inmersión adecuada en el contexto en el que se realiza la tarea simulada (una información que puede ser completada con informes, manuales técnicos o de instrucciones, etc.). Con este propósito, se han establecido una serie de entrevistas de toma de contacto con los expertos en la tarea y también con los aprendices de distintos niveles. Ni que decir tiene que su colaboración ha sido inestimable, contribuyendo muy significativamente al discernimiento logrado por el analista.

La observación previa al análisis de la tarea se realizó tomando progresivamente

conciencia de los parámetros que afectan a su ejecución: el tipo de persona al que se entrevista -su nivel de experiencia y dominio en la tarea-, los lugares desde los que se observa (perspectiva física), los contextos de trabajo - tipo de barco-, las variaciones en la tarea (en bodega, en cubierta, tamaño del contenedor), las condiciones meteorológicas, etc. Se ha observado la ejecución en expertos, y ocasionalmente sus procedimientos de enseñanza. También se ha observado la ejecución en alumnos de tres niveles: absolutamente noveles, alumnos en fase de aprendizaje y alumnos que están ya a punto de convertirse en manipuladores. Este periodo de observación se ha llevado a cabo de forma intermitente -en función de la disponibilidad de los operarios y las máquinas- durante aproximadamente 8 semanas, lo que a dado lugar a unas veinte sesiones de observación en periodos de entre 1 y 3 horas.

Durante este tiempo el analista ha observado el proceso de estiba/desestiba tratando de aprovechar al máximo el conjunto de perspectivas físicas presentes: fundamentalmente desde la cabina de mandos, con el manipulador, pero también desde otros lugares (en la grúa, a pie de grúa y desde la cubierta del barco). Han sido observadas cinco grúas pórtico de distintos tamaños que trabajaban sobre barcos de distinto tipo (que diferían en tamaño, y en diversos parámetros de carga: zona de trabajo, condiciones de estabilidad del barco, acondicionamiento de las bodegas, obstáculos en cubierta, etc.). En muchas ocasiones el analista ha podido contar con el comentario directo de los expertos ("thinking aloud"). Queremos con ello destacar que el análisis de tareas implica toda una serie de procesos de comunicación, interacción social y observación cuyo propósito final

es lograr un conocimiento suficiente de cómo se hace el trabajo y cuáles son las dificultades y errores más sobresalientes.

### ***Paso 2. La descripción formal de la tarea: el método GOMS***

La observación y el establecimiento del desempeño de la tarea han debido permitir al analista absorber y componer el conocimiento de la tarea y el contexto en el que se desempeña. Una vez la percepción del analista está mínimamente afinada, queda la parte más formal del análisis de tareas, que implica la elaboración de una ficción psicológica que sistematice y describa los pasos fundamentales en la tarea. Esta descripción quedará reflejada fundamentalmente en el análisis GOMS, que describiremos a continuación. Éste es, a nuestro entender, un proceder lo suficientemente fiable para establecer procesos de comparación simulador/realidad y así comprobar la fidelidad ofrecida en las distintas dimensiones del sistema simulador.

#### *El método GOMS*

El modelo GOMS es una representación del conocimiento práctico, del *cómo se hace*, que un usuario precisa para desempeñar tareas con un dispositivo o con un sistema determinado (Kieras, 1991). GOMS, acrónimo de G(oals) -objetivos -, O(perators) -operadores -, M(ethods) -métodos -, y S(election rules) -reglas de selección, es resultado de las investigaciones realizadas en el centro de Palo Alto subvencionadas por Xerox en la década de los 70. Sus orígenes pueden buscarse en los trabajos seminales de Newell y Simon (1972), aunque el desarrollo y la formalización del modelo se debe a Card, Moran y

Newell (1983). GOMS ha sido probablemente el método formal de representación de interfaces de usuario más influyente en el campo de la interacción hombre-ordenador (Valero, 1996).

El modelo GOMS parte de la idea de que la estructura cognitiva de un usuario a la hora de realizar una tarea con un sistema se compone de una serie de conjuntos de objetivos, operadores, métodos y reglas de selección:

- a) Un objetivo es algo que el usuario quiere conseguir hacer. El analista tratará de identificar y representar los objetivos de los usuarios normales. Por lo general, en la medida en que impliquen subobjetivos, tendrán una disposición jerárquica. La descripción de un objetivo es un par acción-objeto (verbo-sustantivo).
- b) Los operadores son actos cognitivos, motores o perceptivos que el usuario lleva a cabo. Al igual que los objetivos, forman un par acción-objeto, pero en un modelo GOMS un objetivo es algo que debe llevarse a cabo, mientras que un operador simplemente se ejecuta. Esta división se basa en la intuición y depende del nivel de análisis. La conducta del usuario podría ser trazada como una secuencia de estas operaciones. Los operadores definen la finura -o grano- de análisis con el que el modelo GOMS ha sido realizado (el nivel máximo de detalle establecido en la descripción).
- c) Los métodos describen una secuencia o serie de pasos que llevan a cumplir un objetivo. Es una de las maneras en las que un usuario almacena su conocimiento de una tarea. Se supone que ese conocimiento ya

se posee (el usuario no debe implicarse en un proceso de solución de problemas para lograr sus objetivos). Es posible que un Método requiera la ejecución de una serie de subobjetivos, de modo que los Métodos tienen una estructura jerárquica. Describir los métodos es el aspecto central del análisis de tareas.

- d) Las reglas de selección se formulan con el propósito de dirigir el control sobre el método apropiado para cumplir un objetivo. Para alcanzar un objetivo puede haber más de un método correcto para realizar la tarea. Las reglas de selección facilitan la elección idónea de cada método en cada situación.

Estas cuatro entidades permiten realizar una descripción jerárquica de la forma ideal en que un usuario realizaría una acción: GOMS es un modelo hipotético de cómo hacemos cosas. En resumen: el modelo GOMS consiste en una serie de descripciones relativamente formales de los Métodos necesarios para conseguir una serie de Objetivos específicos. Los Métodos son series de pasos consistentes en Operadores, que el usuario ejecuta. Si hubiese más de un Método para conseguir un Objetivo, entonces el modelo GOMS incluye una serie de Reglas de Selección para elegir el Método apropiado dependiendo del contexto.

Una de las características más importantes del modelo GOMS es que el conocimiento práctico es descrito de forma que pueda ser, de hecho, llevado a la práctica. La idea con la que se construye el modelo es que alguien pueda seguir la descripción de GOMS, ejecutar las acciones descritas y llevar realmente a cabo la

tarea. La identificación y la definición de los objetivos del usuario suele ser difícil debido a que, como hemos visto, se debe examinar la tarea que el usuario trata de desempeñar con cierto detalle. Este examen implica ir más allá del dispositivo que se quiere utilizar para incluir, además, el contexto del trabajo en el cual se utiliza ese dispositivo. Esta consideración es especialmente importante en el diseño y el perfeccionamiento de un dispositivo nuevo. Un buen diseño no sólo incorporará la tarea aislada, sino que incluirá además el modo en que el dispositivo será empleado en el contexto de trabajo.

Una vez desarrollado, GOMS puede contribuir a establecer predicciones sobre el aprendizaje y el desempeño de los usuarios con un sistema determinado. Una descripción GOMS es también una ayuda para determinar un conjunto de decisiones de diseño considerando el punto de vista del usuario, por lo que resulta útil durante y tras el diseño de cualquier dispositivo o sistema. Por último, también es una descripción de lo que el usuario debe aprender, de forma que puede servir como base para obtener información de referencia y para los programas de entrenamiento.

Como hemos visto, llevar a cabo un análisis de tareas GOMS implica definir y describir con una notación formal los objetivos, operadores, métodos y reglas de selección del usuario. Precisamente uno de los problemas del modelo GOMS es la dificultad técnica que conlleva la escritura de las reglas de producción, proceso muy similar a la programación en lenguaje ensamblador. La literatura ofrece distintas alternativas para hacer más asimilable el proceso de elaboración de los modelos, entre las que destacaremos, si-

guiendo a Kieras (1991), el NGOMSL, de "Natural GOMS Language" (Lenguaje GOMS Naturalizado). La ventaja de NGOMSL, el método de descripción que hemos seguido, consiste en mantener una relación directa con el modelo de producción de reglas subyacente (es decir, GOMS), siendo a la vez relativamente fácil de leer y escribir.

### ***Paso 3. La comparación entre la descripción formal y el simulador***

La evaluación de un simulador debe ser multidimensional. La elaboración de la descripción GOMS permite comprobar si es posible reproducir en el simulador todo el proceso de estiba y desestiba. Esto es, GOMS permite comprobar la fidelidad en el procedimiento, indicando si contamos con los instrumentos necesarios para cumplir los objetivos que permiten llevar a cabo la tarea, tal como ocurre en la vida real. Pero la evaluación de la simulación exige tener en cuenta otras dimensiones complementarias a la procedimental: registrar si los tiempos de ejecución en el simulador son paralelos a los tiempos reales; observar los comportamientos de las cargas simuladas y las cargas naturales; comparar la reproducción de sonidos y sensaciones táctiles; niveles de estrés proporcionados (registros psicofisiológicos basales en el simulador y en la grúa, medidas de autoinforme), etc. En su sentido global, la evaluación del simulador es posible gracias al análisis empírico llevado a cabo durante el proceso general del análisis de tareas, incluyendo los procesos de observación, entrevistas, etc. (Lucas, Valero, García-Ros, Lozano, Fuertes y Pérez, 1999).

Como consecuencia de este análisis de tareas fue posible constatar la existencia de

Newell (1983). GOMS ha sido probablemente el método formal de representación de interfaces de usuario más influyente en el campo de la interacción hombre-ordenador (Valero, 1996).

El modelo GOMS parte de la idea de que la estructura cognitiva de un usuario a la hora de realizar una tarea con un sistema se compone de una serie de conjuntos de objetivos, operadores, métodos y reglas de selección:

- a) Un objetivo es algo que el usuario quiere conseguir hacer. El analista tratará de identificar y representar los objetivos de los usuarios normales. Por lo general, en la medida en que impliquen subobjetivos, tendrán una disposición jerárquica. La descripción de un objetivo es un par acción-objeto (verbo-sustantivo).
- b) Los operadores son actos cognitivos, motores o perceptivos que el usuario lleva a cabo. Al igual que los objetivos, forman un par acción-objeto, pero en un modelo GOMS un objetivo es algo que debe llevarse a cabo, mientras que un operador simplemente se ejecuta. Esta división se basa en la intuición y depende del nivel de análisis. La conducta del usuario podría ser trazada como una secuencia de estas operaciones. Los operadores definen la finura -o grano- de análisis con el que el modelo GOMS ha sido realizado (el nivel máximo de detalle establecido en la descripción).
- c) Los métodos describen una secuencia o serie de pasos que llevan a cumplir un objetivo. Es una de las maneras en las que un usuario almacena su conocimiento de una tarea. Se supone que ese conocimiento ya

se posee (el usuario no debe implicarse en un proceso de solución de problemas para lograr sus objetivos). Es posible que un Método requiera la ejecución de una serie de subobjetivos, de modo que los Métodos tienen una estructura jerárquica. Describir los métodos es el aspecto central del análisis de tareas.

- d) Las reglas de selección se formulan con el propósito de dirigir el control sobre el método apropiado para cumplir un objetivo. Para alcanzar un objetivo puede haber más de un método correcto para realizar la tarea. Las reglas de selección facilitan la elección idónea de cada método en cada situación.

Estas cuatro entidades permiten realizar una descripción jerárquica de la forma ideal en que un usuario realizaría una acción: GOMS es un modelo hipotético de cómo hacemos cosas. En resumen: el modelo GOMS consiste en una serie de descripciones relativamente formales de los Métodos necesarios para conseguir una serie de Objetivos específicos. Los Métodos son series de pasos consistentes en Operadores, que el usuario ejecuta. Si hubiese más de un Método para conseguir un Objetivo, entonces el modelo GOMS incluye una serie de Reglas de Selección para elegir el Método apropiado dependiendo del contexto.

Una de las características más importantes del modelo GOMS es que el conocimiento práctico es descrito de forma que pueda ser, de hecho, llevado a la práctica. La idea con la que se construye el modelo es que alguien pueda seguir la descripción de GOMS, ejecutar las acciones descritas y llevar realmente a cabo la

tarea. La identificación y la definición de los objetivos del usuario suele ser difícil debido a que, como hemos visto, se debe examinar la tarea que el usuario trata de desempeñar con cierto detalle. Este examen implica ir más allá del dispositivo que se quiere utilizar para incluir, además, el contexto del trabajo en el cual se utiliza ese dispositivo. Esta consideración es especialmente importante en el diseño y el perfeccionamiento de un dispositivo nuevo. Un buen diseño no sólo incorporará la tarea aislada, sino que incluirá además el modo en que el dispositivo será empleado en el contexto de trabajo.

Una vez desarrollado, GOMS puede contribuir a establecer predicciones sobre el aprendizaje y el desempeño de los usuarios con un sistema determinado. Una descripción GOMS es también una ayuda para determinar un conjunto de decisiones de diseño considerando el punto de vista del usuario, por lo que resulta útil durante y tras el diseño de cualquier dispositivo o sistema. Por último, también es una descripción de lo que el usuario debe aprender, de forma que puede servir como base para obtener información de referencia y para los programas de entrenamiento.

Como hemos visto, llevar a cabo un análisis de tareas GOMS implica definir y describir con una notación formal los objetivos, operadores, métodos y reglas de selección del usuario. Precisamente uno de los problemas del modelo GOMS es la dificultad técnica que conlleva la escritura de las reglas de producción, proceso muy similar a la programación en lenguaje ensamblador. La literatura ofrece distintas alternativas para hacer más asimilable el proceso de elaboración de los modelos, entre las que destacaremos, si-

guiendo a Kieras (1991), el NGOMSL, de "Natural GOMS Language" (Lenguaje GOMS Naturalizado). La ventaja de NGOMSL, el método de descripción que hemos seguido, consiste en mantener una relación directa con el modelo de producción de reglas subyacente (es decir, GOMS), siendo a la vez relativamente fácil de leer y escribir.

### ***Paso 3. La comparación entre la descripción formal y el simulador***

La evaluación de un simulador debe ser multidimensional. La elaboración de la descripción GOMS permite comprobar si es posible reproducir en el simulador todo el proceso de estiba y desestiba. Esto es, GOMS permite comprobar la fidelidad en el procedimiento, indicando si contamos con los instrumentos necesarios para cumplir los objetivos que permiten llevar a cabo la tarea, tal como ocurre en la vida real. Pero la evaluación de la simulación exige tener en cuenta otras dimensiones complementarias a la procedimental: registrar si los tiempos de ejecución en el simulador son paralelos a los tiempos reales; observar los comportamientos de las cargas simuladas y las cargas naturales; comparar la reproducción de sonidos y sensaciones táctiles; niveles de estrés proporcionados (registros psicofisiológicos basales en el simulador y en la grúa, medidas de autoinforme), etc. En su sentido global, la evaluación del simulador es posible gracias al análisis empírico llevado a cabo durante el proceso general del análisis de tareas, incluyendo los procesos de observación, entrevistas, etc. (Lucas, Valero, García-Ros, Lozano, Fuertes y Pérez, 1999).

Como consecuencia de este análisis de tareas fue posible constatar la existencia de

divergencias entre el funcionamiento del sistema simulador y el desempeño real de la tarea. De este modo, se establecieron un conjunto de objetivos informáticos dirigidos a incrementar la fidelidad del simulador. Los objetivos se han centrado en el concepto de fidelidad en el equipamiento (su apariencia general, la funcionalidad de la instrumentación), sensorio perceptiva (dinámica -aceleraciones, vibraciones e inercias -, visual y auditiva), respecto a los parámetros del entorno portuario y de las situaciones concretas de la tarea (efectos atmosféricos, distribución de las cargas en el barco, tipo de contenedores, etc.) y psicológica (valoración de los monitores como duplicado del real). Sin embargo, no queremos dejar de destacar que GOMS sólo representa una descripción formal del desarrollo ideal de la tarea, que hemos complementado con la observación sistemática del desempeño, las entrevistas con expertos y la consideración para el diseño instruccional de condiciones y situaciones de trabajo que exceden a la descripción efectuada mediante este procedimiento de análisis de tareas.

### **El problema de los diseños de instrucción**

#### ***Usos y tipos de simulación: Simulación de propósito general y simulación instruccional.***

No todos los simuladores se requieren para lo mismo, y la importancia de los problemas que pueda presentar un simulador variará en función de nuestros propósitos para con él. Los simuladores pueden servir para muchas cosas. Algunos simuladores se diseñan principalmente con una finalidad lúdica, de entretenimiento, y recrean

realidades que pueden ser existentes o inexistentes (virtuales). Otros simuladores pueden servir como recurso económico: vendiendo simuladores (como objeto de consumo) o ahorrando dinero y problemas al emplearlos. Los simuladores también son la forma en que una empresa puede adquirir cierto status tecnológico, etc.

Pero la función que aquí nos interesa es la del simulador como herramienta de entrenamiento y formación, y en este sentido podemos pensar en dos tipos de simuladores:

- a) *Simuladores que enseñan acerca de algo.* Son los simuladores que se emplean cuando queremos comprobar hipótesis sobre el funcionamiento de algún dispositivo **inanimado, u organizable** en un sistema o contexto dado. Por ejemplo, como responderá una macroestructura de cemento para una plataforma petrolífera en el Ártico (suponiendo una serie de corrientes, temperatura, etc.).
- b) *Simuladores que enseñan cómo hacer algo.* En estos simuladores también podemos comprobar hipótesis sobre el funcionamiento de un dispositivo en un sistema dado. Pero en este caso el "dispositivo" que se introduce es un ser humano que trata de aprender y ejercitar una serie de habilidades necesarias para funcionar en un contexto dado que está simulado, como en el caso de un simulador de vuelo. Un ser humano tiene unas características especiales que deben ser tenidas en consideración. Una de las más importantes es que tiene capacidad de aprender y de decidir por sí mismo. Teniendo esto en cuenta, podemos emplear un simulador de dos maneras:

1. Dejar que ese ser humano aprenda por mera práctica, que reaccione al entorno (simulado) y vaya desarrollando así estructuras cognitivas, modelos mentales, y capacidades psicomotrices. Dejar que él se adapte al entorno como pueda en función de sus objetivos. Se trata de la libre autoorganización de la experiencia y el conocimiento. En este caso sólo requerimos una alta fidelidad para el simulador: una máxima semejanza con la realidad modelada, una máxima correspondencia estimular entre simulador y realidad. Llamaremos a éstos *simuladores de propósito general*, y se definen por contribuir pasivamente al aprendizaje.
2. Guiar, en ese ser humano, la adquisición y el desarrollo de las estructuras cognitivas y capacidades psicomotrices necesarias para llevar a cabo la tarea (el objetivo). Para ello no dejamos que el individuo se adapte sin más al entorno sino que hacemos que el entorno contribuya al aprendizaje, adaptándolo al nivel de desarrollo del individuo<sup>1</sup>. La autoorganización de la experiencia y el conocimiento es racionalizada y dirigida con arreglo a los objetivos.

Una alta fidelidad para el simulador será necesaria en los estadios finales del aprendizaje (máxima complejidad). Antes

de esto son necesarios una serie de entornos de simulación *irrealmente simplificados* que contribuirán al aprendizaje. La fidelidad se combina con la organización de la información que el individuo procesa durante el aprendizaje<sup>2</sup> y de ese modo se optimiza la utilidad de la simulación. Llamaremos a éstos *simuladores instruccionales*, y se definen por contribuir activamente al aprendizaje.

En resumen, las simulaciones diseñadas con una función instruccional, a diferencia de las simulaciones de propósito general, cuyo fin primordial es la mera obtención de un modelo lo suficientemente bueno de la realidad, exigen una cuidadosa consideración de las dimensiones relativas a procesos de aprendizaje en términos de determinación de objetivos, presentación de información, sistemas de retroalimentación inmediata y diferida, secuencialización de tareas, criterios de evaluación y transferencias, en aras a una mayor utilidad para la formación.

### *Síntesis de la elaboración del diseño instruccional.*

Tal como hemos expuesto en la introducción, el proceso necesario para integrar los componentes y condiciones necesarias para diseñar simuladores instruccionales (figura 1) requiere un extenso análisis de tareas, y además supone el compromiso de determinar la información y las secuencias de aprendizaje que se proporcionarán al aprendiz y los medios para su evaluación. En este sentido, y como veremos a conti-

1. En realidad la mayoría de videojuegos incorporan estadios de práctica secuenciados en dificultad que aseguran que el sujeto se lo pase bien: hasta que no supera un grado de dificultad determinado, no puede pasar al siguiente escenario, más complejo que el anterior.

2. Al igual que diseñar escenarios irrealmente dificultosos pueden preparar para afrontar problemas y errores poco habituales.

nuación, se han establecido tres niveles en cuanto a la secuencialización de contenidos: el macronivel, el mesonivel y el micronivel.

### ***Niveles en el diseño de instrucción: macro, meso y microestructura***

El diseño de instrucción parte del análisis previo de tareas, adoptando una perspectiva que enfatiza el desarrollo y la secuencialización de prácticas con tareas realistas y significativas, de modo que el sujeto ejecute con el simulador tareas completas, secuencializadas en orden de dificultad y que suponen simplificaciones de las tareas reales. Esto ocurre así a excepción del primer módulo en el que se practican habilidades básicas de carácter recurrente en la realización de tareas. Desde esta perspectiva, en el diseño de instrucción se consideran tres niveles distintos: el macronivel (el establecimiento de conjuntos de habilidades a entrenar y la secuencialización de las mismas), el mesonivel (casos tipo a tratar en cada *cluster* de habilidades a desarrollar) y el micronivel (tareas o problemas con formatos distintos).

En función de las características de las tareas y del contexto de entrenamiento aplicamos, como parte de una aproximación desde la metodología de prototipos (Tripp y Bichelmeyer, 1990) el modelo 4CID (Inducción, Compilación, Codificación y Elaboración) desarrollado por Van Merriënboer (1997), que responde al análisis y descomposición de la tarea en una jerarquía de habilidades constituyentes, el establecimiento de la relación entre las mismas, así como la selección y especificación de los métodos instruccionales junto a los distintos materiales y formatos de presentación de la información.

### ***Diseño de instrucción: la macroestructura***

La elaboración de la macroestructura implica determinar y secuencializar las habilidades a integrar en el proceso de instrucción. El origen de este proceso se sitúa en el análisis de tareas que debe permitir la identificación de las habilidades implicadas, así como su relación tanto vertical (los prerrequisitos de aprendizaje de cada módulo) como horizontal (la adquisición simultánea de conjuntos de habilidades). Del mismo modo, tomando como referencia el análisis de tareas se establecerá un proceso de entrenamiento a partir de una aproximación basada en flujos (*paths*) de tareas completas cada vez más complejas o en la fragmentación e integración de los componentes de la misma. Finalmente, los módulos de habilidades así definidos constituyen bloques de contenido y/o módulos de instrucción, con objetivos descritos en términos operativos en cuanto a condiciones y niveles de ejecución a conseguir.

A continuación se presenta una síntesis de los módulos del diseño de instrucción desarrollados para las tareas de estiba y desestiba (tabla 1).

### ***Diseño de instrucción: mesoestructura y microestructura***

Una vez establecida la estructura general del diseño de instrucción nos ocupamos de la secuenciación de las actividades dentro de cada módulo. Para ello es necesario establecer cuáles van a ser los criterios de secuenciación de las tareas en orden de complejidad y de los prerrequisitos de aprendizaje de las mismas en cada módulo, seleccionando casos o situaciones tipo a incorporar. Por lo general se siguen dos

Tabla 1. Síntesis de los módulos del diseño de instrucción.

<b>Nombre del módulo</b>	<b>Descripción</b>
<i>Módulo 0: Habilidades básicas</i>	Ejecución de trayectorias. Elaboración de referencias. Enganchar y soltar la carga.
<i>Módulo 1: Trabajo en cubierta</i>	Operar con varios contenedores. Aprender el sentido global de la tarea. Seguimiento de prescripciones específicas.
<i>Módulo 2: Trabajo en bodega con guías</i>	Familiarización con la bodega. Llenado/vaciado sistemático de bodegas. Seguimiento de prescripciones específicas.
<i>Módulo 3: Práctica de trimado (cubierta)</i>	Trimado y toma de referencias. Práctica con distintos ángulos. Seguimiento de prescripciones específicas.
<i>Módulo 4: Práctica de trimado (bodega)</i>	Toma de referencias y práctica con distintos ángulos. Tácticas especiales (“atochar”). Seguimiento de prescripciones específicas.
<i>Módulo 5: Respuesta natural del buque</i>	Práctica de estiba y desestiba. Seguimiento de prescripciones específicas y genéricas.
<i>Módulo 6: Buques de distintos tamaños</i>	Práctica de estiba y desestiba. Seguimiento de prescripciones específicas y genéricas.
<i>Módulo 7: Tácticas especiales</i>	Tapado y destapado de bodegas. Trabajo con cargas poco habituales. Trabajo en bodega sin guías. Prácticas especiales de estiba/desestiba. Trayectorias especiales.

critérios generales y sus combinaciones en la elaboración de los módulos: de lo simple a lo complejo y de lo general a lo particular.

El criterio simple/complejo conjuga aspectos tales como el número de habilidades implicadas en cada tarea, la dificultad inherente a cada tarea o subtarea implicada y el efecto de la simultaneidad (que supone la

aparición de nuevas complejidades). Muchas actividades simples por separado son complejas al tener que hacerlas a la vez. Un ejemplo claro de esto es el manejo de la trayectoria del *spreader* (dispositivo con el que la grúa enganchar los contenedores). Mover dos controles por separado en serie es más simple que mover dos controles simultáneamente

para trazar una parábola. La complejidad es inherente a la simultaneidad.

El criterio global/particular se refiere a la especificidad de la tarea. La dificultad inherente a este criterio radica en la sensibilidad al contexto que es necesario desarrollar para identificar soluciones concretas para resolver problemas definidos y con entidad propia. En un principio los ejercicios tienen un carácter global: trasladar, subir, cargar. La particularización aparece con elementos poco sutiles como el peso y la distancia. Poco a poco surgen actividades cuya resolución requiere un dominio más específico, especialmente de la elaboración y control de las referencias: levantar la tapa de una bodega, estibar con el barco escorado y empopado, estibar en bodegas sin guías, etc.

Se procede así a la determinación de las sesiones de entrenamiento, especifican-

do el formato de las tareas concretas a desarrollar, la magnitud y variabilidad de práctica que es conveniente proporcionar, la información previa y el tipo de soporte que se suministrará al aprendiz, las características de la retroalimentación informativa-correctiva y el establecimiento de criterios de ejecución. La realización de esta tarea se efectúa basándose en el Modelo CDT -Teoría de los Componentes Instruccionales de Merrill- (Merrill, 1983) determinando las prácticas en función del objetivo de las mismas, ya sea para la adquisición de una habilidad o información, para la aplicación de la misma y/o el desarrollo de estrategias cognitivas o para la generalización ésta. La figura 4 presenta un ejemplo gráfico de algunos ejercicios presentes en el módulo 0, que está compuesto de un total de 8 prácticas y 30 ejercicios.

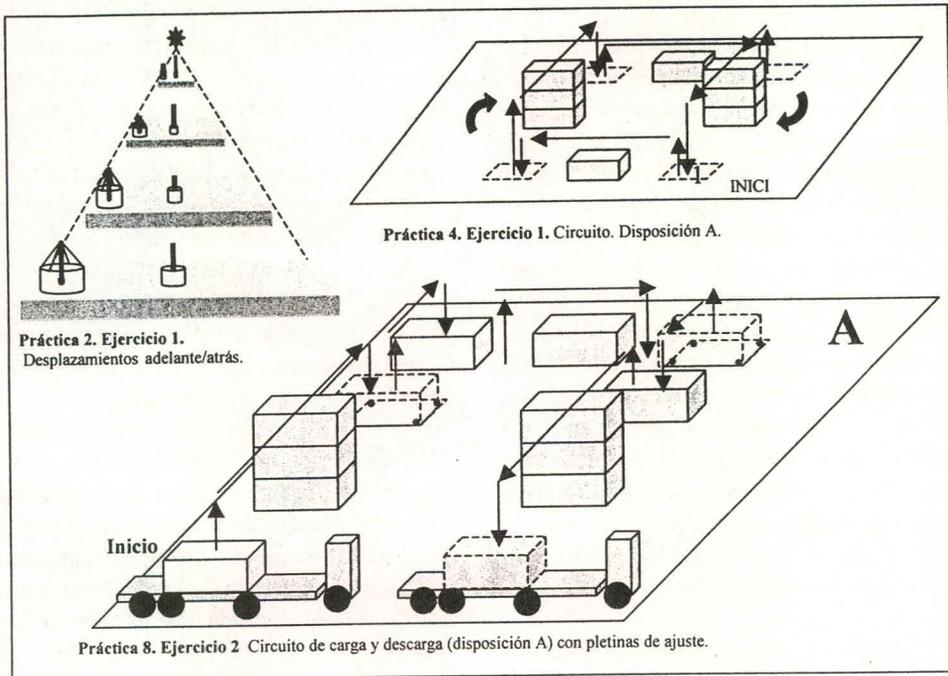


Figura 4. Ejemplos gráficos de ejercicios.

Adicionalmente, en el diseño de cada práctica específica se han incorporado diversos componentes instruccionales para facilitar el aprendizaje, entre los que podemos destacar:

1. Una serie de mensajes instruccionales dirigidos a facilitar al estudiante el aprendizaje (por ejemplo, dirigir atención, tomar decisiones, establecer objetivos y pasos, ejecutar acciones).
2. El establecimiento de sistemas de retroalimentación informativa-correctiva, tanto para habilidades recurrentes como no recurrentes.
3. La determinación de mensajes didácticos a proporcionar en función de los niveles de ejecución según el objetivo instruccional.

Estos dos últimos puntos están directamente relacionados con el apartado del análisis de tareas sobre el establecimiento de las medidas de ejecución. Es preciso determinar qué variables resultan relevantes, cómo las vamos a operativizar e implementar informáticamente para poder ser registradas, y decidir un mecanismo para que esas variables sean evaluadas y cómo se las vamos a presentar al sujeto (por ejemplo, a través de la comparación directa de la ejecución del sujeto con los niveles esperados y/o de la enumeración de errores), con el objeto de elaborar un criterio de evaluación del aprendizaje y de ajustar la retroalimentación de la propia ejecución.

#### *Otros componentes instruccionales*

Esta propuesta pretende integrar la existencia de un Modo Instructor (en el que el instructor puede definir las tareas a ejecutar,

determinando la aceleración y/o repetición de prácticas en función del ritmo de consecución de los objetivos), un Modo Instrucción (en el que el sujeto desempeña las prácticas previamente definidas y secuencializadas en cuanto complejidad) y un Modo Libre (donde el aprendiz es quien decide el nivel de complejidad al que quiere practicar).

*Diseño de la interfaz.* Implementación informática, diseño de la interfaz y determinación de medidas en el simulador.

*La interfaz para el diseño de instrucción.* El sistema simulador permite optar por diversos modos de instrucción (modo instructor, modo libre, modo instrucción) por lo que ha sido necesario diseñar el acceso del usuario a cada uno de esos modos. De nuevo se ha recurrido a GOMS para diseñar las operaciones a través de las cuales el usuario elegirá entre las distintas alternativas. Queremos que el usuario pueda decidir el tipo de práctica que va a llevar a cabo y el nivel de complejidad de la información sobre los resultados de su práctica que puede obtener. Se aprovechan así las potencialidades del GOMS para diseñar tareas que aún no existen, incluyendo el tipo de usuario (aprendiz, monitor) durante el diseño de la interfaz.

No debe confundirse esta forma de interacción con la que el usuario pueda tener con el simulador *durante* la práctica (retroalimentación *on-line*). Como agente externo, el usuario tiene la posibilidad de decidir en qué "realidad simulada" quiere introducirse y el tipo de evaluación sobre su desempeño que obtendrá al finalizar la práctica. De modo que se trata de disponer la información necesaria para poner en marcha la opción deseada en el sistema simulador; una información que permite el diálogo entre el usuario y el sistema.

El "mapa" que permite la elección de la práctica responde a una lógica de diseño

bastante común en las interfaces con ordenadores. Se trata de un conjunto de cuadros de diálogo que aparecen en pantalla sobre las que el usuario va indicando sus elecciones. Cada elección va restringiendo y acotando el conjunto de opciones restantes hasta que el usuario completa el conjunto de sus preferencias. El sistema ha sido pensado para que puedan variarse los distintos parámetros implicados en la tarea. El Modo Libre permite una selección totalmente personalizada de los distintos parámetros relativos a la carga, al barco, o al contexto. El Modo Instrucción incluye una selección preestablecida de estos parámetros (representa el conjunto de valores que se incluyen por defecto). Tal como se refleja en la figura 1, uno de los objetivos de este trabajo consiste en mantener la posibilidad de que el diseño pueda ser continuamente mejorado. Por ello debe ser posible cambiar -según el criterio de los expertos o criterios de tipo empírico- cada uno de los parámetros que operan en los módulos por defecto o crear módulos nuevos: para ello se ha de operar en el Modo Instructor.

*Determinación de medidas en el simulador y evaluación.* La salida de la información que el sistema proporciona al usuario sobre su propio desempeño debe ser cuidadosamente planeada. Éste es un aspecto relevante del diseño, pues puede incidir indirectamente sobre el desempeño. El sistema ha sido diseñado para que sea posible elegir resúmenes evaluativos sobre cada uno de los parámetros que constituyen cada práctica. Estos registros, referidos a variables como el tiempo, el número de movimientos, el número de intentos, los ángulos, las trayectorias, etc., pueden obtenerse con bastante detalle. El conjunto de medidas es bastante extenso, lo cual beneficia a los propósitos de la investigación y al análisis sobre la ejecución de la tarea, pero puede resultar excesivamente detallado con vistas a una valoración más rápida y concisa del desempeño de un aprendiz. Por ello, con el ánimo de simplificar la tarea de (auto-)supervisión del proceso de aprendizaje, han sido diseñados una serie de indicadores gráficos más sintéticos, como el que se muestra en la figura 5.

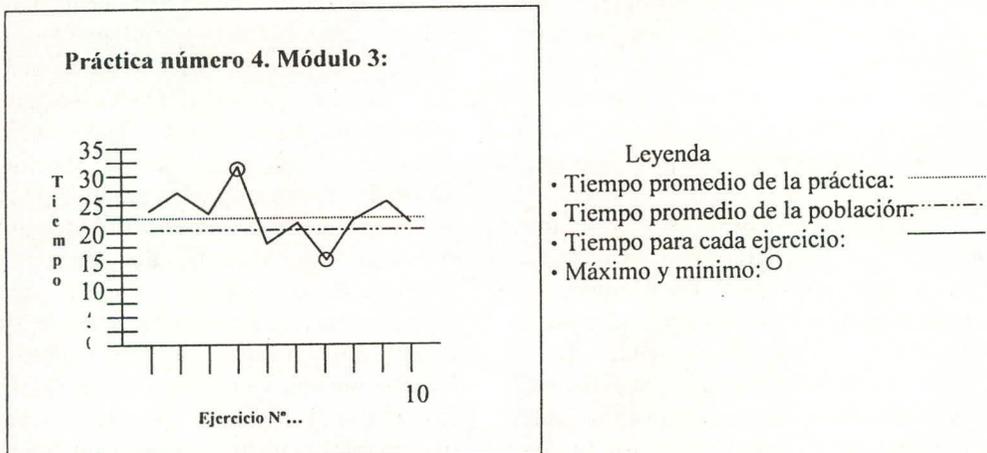


Figura 5. Síntesis evaluativa ofrecida al usuario.

## Conclusión

Un simulador es un dispositivo con un gran potencial como instrumento de aprendizaje por varios motivos. Por un lado, las posibilidades tecnológicas actuales ya permiten obtener simulaciones muy realistas, y es de esperar que la fidelidad de los simuladores mejore en un futuro próximo, con lo que podremos facilitar la interacción y el aprendizaje en contextos complejos y/o de riesgo. Sin embargo, tal como hemos ido destacando a lo largo de estas páginas, centrarnos en incrementar la fidelidad en aras a facilitar el transfer puede inhibir el aprendizaje en las fases iniciales del proceso. Y, a la inversa, si optamos por degradar la fidelidad del simulador de cara a facilitar la adquisición de competencias en los niveles formativos iniciales estaremos minando su capacidad para transferirlas a la operativa real. Por tanto, lo ideal parece ser ajustar la fidelidad de los sistemas simuladores al nivel conocimientos y habilidades que presentan los sujetos inmersos en el proceso de aprendizaje. Más específicamente, con sujetos expertos (p.e., programas de reciclado) y avanzados (fases finales de la instrucción) primando la fidelidad y, con sujetos novatos primando el aprendizaje de reglas y procedimientos en entornos que son una simplificación del real.

Un simulador puede, además, ser muy flexible en el modelado de distintos tipos de circunstancias reales. Por ejemplo, si se considera necesario, un simulador puede limitarse -modelando por debajo de sus posibilidades tecnológicas- a reproducir un subconjunto muy restringido de variables que aparecen en la realidad y, en definitiva, puede ser mucho más simple de lo que es la realidad. Esta flexibilidad en la selección

de contenidos es lo que hace del simulador un gran aliado de los programas y diseños de instrucción, transformándolo de hecho en el medio instruccional por excelencia. Por lo general la realidad en la que debemos actuar se manifiesta en forma compleja y relativamente impredecible. Una de las mayores virtudes de un simulador es que puede ser en principio "irreal" (mucho más simple que la realidad) para ir acercándose a la realidad conforme avanza la preparación del sujeto que se prepara (figura 6).

Por todo ello, diseñar y construir un simulador instruccional nos lleva a preocuparnos de dos cuestiones: la fidelidad del simulador y el diseño instruccional que incorpora. Como hemos podido ver, obtener una simulación fiel no es el único objetivo que debe ser planteado en el desarrollo de un simulador instruccional, aunque la fidelidad, en la medida que se relaciona con la transferencia del aprendizaje, deba ser tasada de alguna manera. Nuestra forma de acometer este problema ha resultado en MEVAFIS. Además de resultar un método efectivo para cumplir este requerimiento, esta metodología parte de un análisis de tareas extenso, complementando los requerimientos del diseño instruccional.

Pero la máxima fidelidad sólo debe preocuparnos especialmente en los estados más avanzados de la instrucción. Más importante, en principio, es la cuestión de la optimización de las potencialidades del simulador lo que nos obliga a centrarnos en el diseño instruccional del mismo, en cómo debe plantearse la estructura y orden de los contenidos y habilidades a incorporar. Evidentemente, y en última instancia, se exigirá que el empleo de simuladores instruccionales contribuya efectivamente al aprendizaje y dominio de un conjunto de tareas determinado. Tal exigencia no tiene

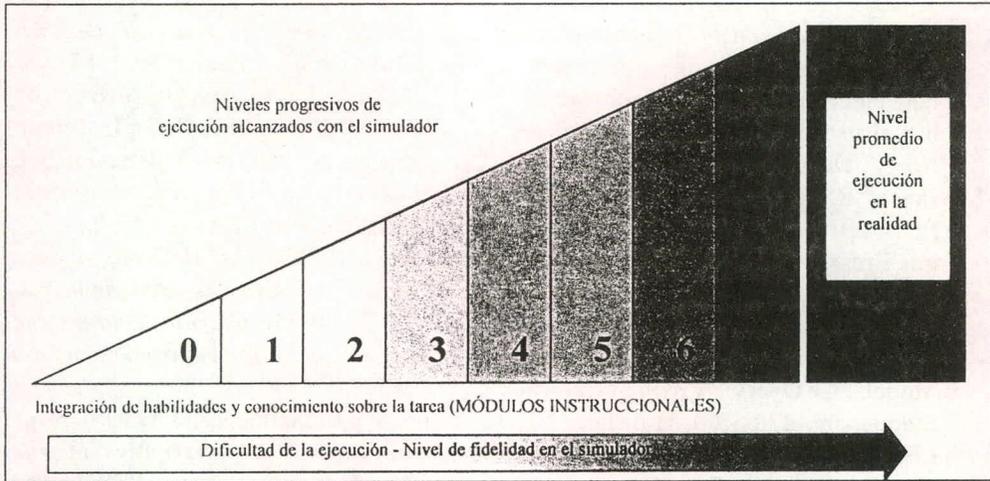


Figura 6. La fidelidad y los contenidos instruccionales en un simulador instruccional.

porqué agotarse en la obtención de una gran fidelidad, cuyo efecto en la transferencia de aprendizaje abriga no pocas controversias. De aquí que, en nuestra opinión, merezca la pena centrarse en los procesos (análisis de tareas, análisis del conocimiento experto) que permitan la aprehensión, síntesis, y secuenciación de los contenidos que deben ser incluidos en el diseño del simulador, y en el desarrollo estructural del propio diseño y en su implementación en el simulador. Tales son, junto a las posibilidades tecnológicas de las que dispongamos, los procesos clave en el éxito del simulador como instrumento de aprendizaje.

## Referencias

- Alessi, S.M. (1988). Fidelity in the design of instructional simulations. *Journal of computer-based instruction*, 15(2), 40-47.
- Bayarri, S. (1995). *Técnicas de visualización y simulación en tiempo real de entornos de conducción: nuevos algoritmos, estructuras de datos y su gestión*. Tesis Doctoral. Universitat de València.
- Card, S., Moran, T., y Newell, A. (1983). *The psychology of human computer interaction*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum Associates.
- Fiske, S., y Taylor, S. (1991). *Social Cognition*. McGraw-Hill.
- García-Ros, R., Valero, P., Fernández, M. y Lucas, A. (1999). Tecnología de simulación y diseño de instrucción. *III Congreso Internacional de Psicología y Educación*. Santiago de Compostela.
- Kieras, D. (1991). *A guide to GOMS task analysis*. Taller presentado en CHI'91. Manuscrito no publicado. Universidad de Michigan.
- Lucas, A., Valero, P., García-Ros, G., Lozano, M., Fuertes, A. y Pérez, M.

- (1999). *Análisis jerárquico de tareas para la evaluación de un simulador de grúa pórtico*. Comunicación presentada en el Congreso internacional sobre el uso de simuladores. León, 29 Nov.-3 Dic., 1999.
- McHaney, R. (1991). *Computer simulation: a practical perspective*. Academic Press.
- Merrill, M. D. (1983). *Component Display Theory*. En C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional Design Theories and Models: An Overview of their Current Status*. (pp. 278-333). Hillsdale, NJ: LEA.
- Monk, A., Wright, P., Haber, J., y Davenport, L. (1993). *Improving your Human-Computer Interface*. Londres. Prentice Hall.
- Monk, A. (1998). Cyclic interaction: an unitary approach to intention, action, and the environment. *Cognition*, 6-8, 95-110.
- Newell, A. y Simon, H. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs. NJ: Prentice-Hall.
- Norman, D.A. (1998). *La psicología de los objetos cotidianos*. Madrid: Nerea.
- Reigeluth, Ch.M. y Curtis, R.V. (1987). Learning situations and instructional models. En R.M. Gagne (Ed.): *Instructional technology*. Nueva York: LEA.
- Reigeluth, Ch.M. y Stein, F.S. (1983). The elaboration theory of instruction. En Ch.M. Reigeluth (Ed.): *Instructional-design theories and models: An overview of their current state*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Ritzer, G. (1996). *The McDonalizacion of Society*. Thousand Oaks: Pine Forge Press.
- Towne, D. (1995). *Learning and instruction in simulation environments*. NJ: LEA.
- Tripp, S. y Bichelmeyer, B. (1990). *Rapid prototyping: An alternative instructional design strategy*. *ETRD*, 38,1, 31-44.
- Valero, P.M. (1996). *Descripción de interfaces hombre computador por medio de métodos formales: aplicación de métodos para la evaluación de un interfaz simulado*. Tesis Doctoral no publicada. Universitat de València.
- Van Merriënboer, J.J.G. (1997). *Training complex cognitive skills: a four component instructional design model for technical training*. NJ: ETP.
- Wager, W., Wager, S. y Duffield, J. A. (1989). *Computers in teaching*. Cambridge: Brookline.