

Los Modelos Mentales y La Representación Tridimensional Computarizada: De los Fundamentos a la Aplicación

Benjamín Martín Baute
Universidad Central de Venezuela
bmartin@urbe.arq.ucv.ve

Resumen

La siguiente investigación se centra en una concepción del aprendizaje apoyada en las teorías de Modelos Mentales. Desde esta perspectiva, la comprensión, el aprendizaje y la resolución de problemas, se basan en la construcción mental y manipulación de modelos analógicos que conforman la estructura cognoscitiva del sujeto aprendiz. El caso que nos ocupa se enmarca dentro del lenguaje de la arquitectura y el diseño urbano en relación con la ejecución de herramientas computacionales de representación tridimensional. Hemos partido del análisis de las características de los modelos mentales de nuestros sujetos aprendices, tanto con relación al conocimiento espacial, como a la ejecución de herramientas de computación gráfica. En el trabajo se exponen los elementos teóricos y la sistematización de la experiencia que hemos aplicado con éxito para la enseñanza de este tipo de herramientas en cursos de postgrado en diseño urbano, dirigidos a arquitectos y urbanistas. La metodología incluye la definición de una concepción del aprendizaje, propuestas para la organización de los contenidos de los cursos, la elaboración de materiales instruccionales y los lineamientos para llevar a cabo la enseñanza. Además de los conceptos de Modelos Mentales, hemos usados las categorías de Aprendizaje Complejo y Componentes de la Instrucción.

Palabras clave: modelos mentales; computación gráfica; intervención instruccional; componentes de instrucción.

The Mental Models and the Computerized Three-Dimensional Representation: from the Basics to the Application

Abstract

Our current investigation is focused on the learning conception based on the Mental Models Theory. From this point of view, understanding, learning and conflict resolution are based on the mental construction and handling of analogical models which are the make up of the cognitive structure of the learner. The case we are working on is framed

within the architectural language and the urban design in relation to the carrying of the three-dimensional computerized tools. We begun from the analysis of the mental model characteristics of our leaner, related to space knowledge as well as the execution of graphic computer tools. In this paper, we show the theoretical elements and systematization of the experience. We have applied successful teaching of these types of tools in urban design postgraduate courses for architects and urban planners. The methodology includes the definition of a learning conception used for the organization of the course content, for the making of instructional materials, and for the instructional sequence. In addition to the concepts of mental models, we have used complex learning categories and instructional components.

Key words: *mental models; graphic computers; instructional methods; components of instruction.*

Introducción

En el presente texto relatamos una descripción de la experiencia que venimos realizando en el Instituto de Urbanismo de la Facultad de Arquitectura y urbanismo de la Universidad Central de Venezuela, en la cual hemos incorporado herramientas de computación gráfica de modelado tridimensional a los cursos de postgrado en diseño Urbano. Los softwares utilizados son fundamentalmente los distintos módulos del paquete computarizado MicroStation. Esta herramienta dista mucho de los tradicionales CAD muy difundidos en el mercado y utilizados por los arquitectos, los cuales suelen ser una extrapolación directa del dibujo en papel y no explotan el potencial del medio digital. El trabajo con MicroStation es complejo en el sentido de que no se trata propiamente de “dibujar” sino de construir objetos virtuales en escala 1 a 1 en un espacio también virtual. Proponemos una metodología para la enseñanza de estas herramientas que se centra en el propósito específico de construcción virtual de la representación de un sector de ciudad y su posterior intervención. Nos hemos servido de las teorías de comprensión y construcción del conocimiento de los *Modelos Mentales* por considerarlas apropiadas para la explicación de los procesos de aprendizaje de conocimientos relacionados con la comprensión espacial y la interacción con herramientas computacionales. Los estudiantes a los que está dirigida la propuesta poseen características muy específicas y los consideraremos nuestros *sujetos de instrucción*. Entenderemos por *Intervención instruccional* todos los procesos por medio de los cuales se planifica y se lleva a cabo una situación de aprendizaje sistematizado.

1. Modelos mentales y computación gráfica: concepción del aprendizaje

La representación gráfica ha sido siempre un poderoso medio por el que muchas disciplinas comunican sus ideas. Los elementos que componen el pensamiento o los contenidos de un determinado discurso pueden eventualmente ser expresados a través de una representación gráfica. Esta representación ha de contener los principios más importantes de las ideas que simbolizan y de las relaciones entre sus elementos, bien sean estas relaciones de orden jerárquica, espacial, geográfica o de contención entre sus aspectos constitutivos. Dependiendo del tópico que trabajemos, existe información más susceptible de ser expresada con gráficos que con palabras. Esta susceptibilidad a la expresión gráfica de las ideas está sujeta a la estructura conceptual del tipo de conocimiento que se trate y de los referentes concretos de la disciplina en cuestión. Tal es el caso de la información espacial referida a lo geográfico-morfológico, muy propia del lenguaje arquitectónico y de los estudios de los fenómenos urbanos. Estas disciplinas poseen un lenguaje propio a través del cual se expresa la información espacial relativa a las características de un sector urbano y a propuestas y proyectos de intervención, que es el tópico que analizaremos a la luz de nuestra experiencia.

A partir de los recientes desarrollos de aplicaciones en el área conocida como computación gráfica, las herramientas computacionales se han convertido en un poderoso instrumento para la construcción de dibujos, gráficos y representaciones digitales bidimensionales y tridimensionales que expresan las ideas espaciales. Estos instrumentos han servido de base para el estudio de realidades que pueden ser expresadas en forma de modelos digitales tridimensionales a través de los cuales se construyen, basados en modelos conceptuales, los elementos de la realidad que nos permiten estudiarla. Aunque muchas veces los modelos tridimensionales digitales sirven de insumo para la traslación al papel de las ideas espaciales, según creemos, la representación tridimensional digital va más allá de una extrapolación del dibujo y la perspectiva. Hemos observado que comprender y manipular las herramientas computacionales que permiten dicha representación digital, es un *aprendizaje complejo* que requiere de la indagación respecto a los

procesos por medio de los cuales, una configuración volumétrica real es representada en un modelo digital. Consideramos que este aprendizaje se obtiene por la construcción de dos tipos de representaciones mentales: la relativa a la configuración volumétrica y la concerniente al funcionamiento de las herramientas computacionales. La continua reestructuración de ambas representaciones mentales y de sus relaciones son propiamente el producto y el proceso del aprendizaje.

Las más recientes investigaciones en el campo del aprendizaje se han centrado en los procesos por medio de los cuales el ser humano adquiere conocimiento, la forma en la cual lo almacena en la memoria y cómo lo aplica en determinadas situaciones de su vida. En este sentido, el sujeto cognoscente o aprendiz ya no es visto como un ser pasivo que acumula conocimiento sino que, a partir de su experiencia previa, construye sus propios conocimientos, en función de los conocimientos previos. Visto así, el aprendizaje consiste en la formación continua de representaciones mentales de objetos, eventos, conceptos y operaciones, y en el establecimiento de relaciones entre ellos. Estas representaciones están estructuradas de forma tal que los sujetos pueden recurrir a ellas en determinadas situaciones y, en definitiva, se constituyen en la configuración de los conocimientos adquiridos por dichos sujetos.

Los estudios de inteligencia artificial y Psicología Cognitiva han propuesto lo que se denomina la *metáfora computacional*. Desde esta perspectiva, estudiamos la comprensión humana en términos de los distintos procesos por medio de los cuales almacenamos y procesamos la información. En este sentido, se distinguen tres tipos de memoria: Un *reten sensorial* a corto plazo, que almacena momentáneamente la información exterior que afecta los receptores sensoriales; una *memoria a corto plazo* o memoria de trabajo, donde se realizan conscientemente las operaciones mentales y una *memoria a largo plazo*, la cual nos interesa particularmente pues es la que alberga los conocimientos que posee el sujeto y que activa en determinadas situaciones, es decir, su *estructura cognoscitiva*.

Desde la perspectiva de la Psicología Cognitiva, los procesos psicológicos de comprensión de la realidad externa parten de una representación interna de la misma. Numerosas propuestas teóricas

y experimentales han tratado de modelar la forma y funcionamiento de dicha representación. Durante algún tiempo prevalecieron las teorías que consideraban la representación proposicional como la única forma representacional existente, vale decir que la estructura de los conocimientos almacenados en la memoria contenía únicamente palabras y símbolos que al conectarse forman proposiciones lógicas (Bonatti, 1994). Sin embargo, el carácter sintáctico de la representación proposicional presenta dificultades en la explicación de la ejecución de ciertas tareas complejas que involucran la interacción con artefactos tecnológicos o con relaciones espaciales (Johnson-Laird, 1991) que es justamente lo que nos ocupa. Por ejemplo, si preguntamos a un sujeto cómo se maneja una bicicleta o cómo se estaciona un automóvil en retroceso, aunque este conocimiento pueda ser expresado verbalmente, involucra necesariamente representaciones mentales que no están formadas por palabras sino por modelos tridimensionales que involucran movimiento y contienen información sobre la ejecución de operaciones y la construcción de relaciones espaciales. Esto es exactamente lo que parece suceder con la tarea de operar un computador para realizar construcciones virtuales de eventos tridimensionales, lo cual es el punto central de esta exposición. Numerosos autores (Kenneth Craik, Johnson-Laird, Pillay, Norman, entre otros) se han opuesto a la exclusividad de la representación proposicional investigando en torno a los conceptos de imágenes mentales y *Modelos Mentales*. Los Modelos Mentales son una de las propuestas que explican los procesos por medio de los cuales entendemos la realidad externa como la construcción de representaciones internas que se utilizan en la comprensión, la solución de problemas y por tanto en el aprendizaje.

En términos generales, un modelo consiste en un sistema físico, químico, conceptual, matemático o analógico, que tiene la misma estructura de relaciones que el proceso que pretende imitar. Entendiendo por estructura de relaciones el hecho de que el modelo funciona en algunos aspectos como procesos paralelos de simulación. Los Modelos Mentales han sido definidos como la construcción de un modelo **A'** a partir de una situación o un estado de las cosas **A** tal que **A'** corresponde a dicha situación colocando cualquier lenguaje como un sistema simbólico que puede hacer referencia a **A** pero no es el mismo **A** (Norman, 1983).

Consideramos que la esencia de la comprensión humana consiste en que los individuos construyen modelos internos de situaciones externas que los capacitan para hacer inferencias y predicciones, para comprender y explicar un fenómeno, construir nuevos conocimientos y decidir acciones para el control de una situación. La cognición está basada en la construcción y manipulación de Modelos Mentales (Jhonson-Laird, 1992).

En la experiencia que estamos exponiendo, hemos aplicado las teorías de *Modelos Mentales*, específicamente a la representación espacial, refiriéndonos a un conocimiento vinculado con las relaciones de volumen, ubicación relativa y proporción entre eventos u objetos externos o ideas que pueden ser posteriormente expresados como modelos digitales tridimensionales. En este sentido, encontramos esencialmente cuatro instancias de análisis: a) una configuración volumétrica externa real; b) el modelo mental de los elementos esenciales de dicha configuración; c) el modelo mental de la ejecución de la representación digital y d) el modelo tridimensional digital propiamente. Esta última, a su vez, debe favorecer la construcción del modelo mental de las personas a quien se dirige la información volumétrica representada.

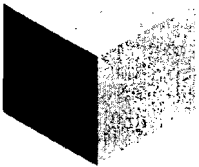
2. Modelos Mentales: la dinámica de funcionamiento

Desde la perspectiva de las teorías de Modelos Mentales, cuando razonamos, interpretamos la realidad espacial construyendo un modelo mental integrado, basado en nuestros propios conocimientos y en la realidad a interpretar. Por ejemplo, ante una configuración volumétrica real de un sector urbano, los arquitectos y urbanistas no representan mentalmente las propiedades lógicas del espacio visto sino que construyen un modelo analógico del mismo que contiene las características esenciales que permitirán posteriormente llevar a cabo una representación gráfica, relacionando entre sí elementos que no están explícitamente contenidos en la observación inicial de la realidad. De esta forma podemos construir una representación mental válida que puede dar por supuestos ciertos elementos basados en esas relaciones no explícitas sin hacerlo conscientemente y evidenciamos conclusiones sobre las nuevas relaciones. También hemos observado

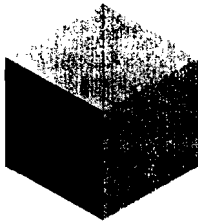
que el orden en que percibimos la información gráfica coincide con el orden en que construimos mentalmente los elementos del modelo mental, "la percepción de la información o las premisas coincide con el orden en que se expresan las conclusiones" (Johnson-Laird, 1992). En la Figura 1 exponemos un ejemplo muy sencillo al que hemos sometido a nuestros aprendices:

Figura 1
Ejemplo de percepción gráfica

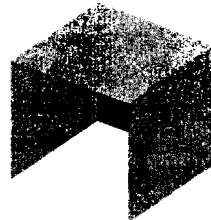
1. Observamos este objeto.



2. Probablemente construimos o activamos inconscientemente el modelo mental con elementos no explícitos: cubo sólido.



3. Rotamos el objeto, recibimos más información, reestructuramos el modelo: Objeto hueco, le faltan dos caras.



La percepción inicial no nos permite una integración inmediata, tendemos a realizar operaciones suplementarias; así, ante dos eventos perceptuales, construimos un primer modelo sobre la base de la primera percepción. La segunda percepción modifica el modelo añadiendo información y la interpretación vuelve sobre las primeras percepciones. Sabemos que cuanto mayor es la carga en la memoria de trabajo, más difícil es hacer una inferencia, puesto que la necesidad de realizar operaciones adicionales para construir un modelo integrado ocupa un gran espacio en la memoria, "Un modelo de un dominio puede ser incompleto, y sin embargo ser útil (Norman, 1983; Johnson-Laird, 1983). De hecho, no existe modelo mental completo para cualquier fenómeno empírico (Johnson-Laird, 1983). Esto resulta

crucial a la hora de la reconstrucción y modificación de los Modelos Mentales que son propios de los procesos de aprendizaje. En este texto entenderemos entonces por aprendizaje la construcción y reestructuración de los Modelos Mentales de un dominio específico y la relación entre modelos mentales de dominios relacionados.

3. Los hallazgos experimentales

Nuestro propósito ha sido aplicar las teorías de los modelos mentales para estructurar una metodología que nos ha permitido realizar una intervención instruccional exitosa en la enseñanza de herramientas computacionales de representación tridimensional. Resulta interesante revisar algunas de las características de los modelos mentales que proponen los autores estudiados como resultado de sus experiencias empíricas y analizar las implicaciones instruccionales que se generan, según nuestra experiencia, para el propósito de enseñanza que nos ocupa:

- **Los modelos mentales son incompletos:** contienen sólo información parcial del objeto de representación necesaria para ser funcionales. Esta incompletitud permite que, en situaciones de aprendizaje, los modelos mentales construidos previamente puedan ser modificados. Quizá un modelo nunca es completo porque siempre es posible aprender algo nuevo acerca de un tópico. A pesar del entrenamiento y la experiencia de nuestros sujetos en la representación gráfica clásica, el aprendizaje de herramientas de representación tridimensional digital requiere una reestructuración de sus modelos mentales. Actualmente, todos nuestros estudiantes tienen alguna experiencia, casi siempre poco sistemática, en el uso de herramientas de computación gráfica. Hemos notado que esta experiencia es útil en el sentido de que los sujetos tienen un modelo mental de la interacción con el computador para propósitos gráficos; sin embargo, este modelo suele ser muy incompleto y es necesario reestructurarlo en el sentido de proponer tareas de aprendizaje en el que se vinculen estos conocimientos previos con los propuestos, en el sentido de que ocurra una reestructuración del modelo mental operacional del dibujo básico, a uno más complejo que incluya, además, la ejecución de la construcción de objetos virtuales, en un espacio también virtual, en el cual las imágenes bidimensionales son sólo

una visualización de un punto de vista del modelo digital tridimensional, más no el propósito único del modelo.

- **Los modelos mentales son inestables:** pierden detalles por la poca frecuencia de uso. Su carácter funcional obliga a que la aplicación continua en el tiempo del modelo mental construido determine su estabilidad en la memoria. En una situación de aprendizaje como la que nos proponemos, la ejercitación y la constante es un aspecto importante a tomar en cuenta. Para que este nuevo conocimiento se construya en la estructura cognoscitiva de los sujetos, nos parece importante centrar la tarea de aprendizaje en instrucciones directamente relacionadas con el ejercicio profesional del diseñador urbano, así, basándonos en los conceptos de *cognición situada*, los ejercicios son acumulativos directamente vinculados con la tarea final de representación e intervención de un espacio urbano real en un sector de la ciudad con problemáticas específicas.

- **Los modelos mentales son idiosincrásicos:** ante un nuevo fenómeno tendemos a mantener las suposiciones previas independientemente del esfuerzo mental y físico que esto implique. Este carácter personal, muchas veces acientífico, significa que las creencias y patrones previos de conducta están incluidos dentro del modelo y tienden a prevalecer. Consideramos entonces que es pertinente indagar sobre el contenido de los modelos mentales de nuestros sujetos de instrucción, relativos al conocimiento que pretendemos enseñar. Como hemos podido observar a través de nuestra experiencia en la enseñanza de herramientas de computación gráfica, nuestros sujetos de instrucción poseen un alto entrenamiento en la representación mental espacial y manejan los códigos propios de su especialidad en cuanto a la representación gráfica casi siempre bidimensional, o producción de imágenes bidimensionales que simulan la tridimensionalidad; nuestra tarea consiste en entrenarlos en la reestructuración de los modelos de representación y manipulación del espacio con la herramienta digital, es decir, a partir de sus modelos previos de interacción humano-computador.

- **Los modelos mentales tienen bordes difusos:** usualmente tendemos a usar un mismo modelo mental para diferentes situaciones. Así, un modelo ya construido sobre funcionamiento de un determinado sistema puede servir (correcta o

incorrectamente) para comprender el funcionamiento de un nuevo sistema. La aplicabilidad de nuestros modelos mentales está supeditada a las características de la tarea y a las habilidades en términos de nuestra experiencia previa con conocimientos similares. Como ya hemos mencionado, nuestros sujetos tienen alguna experiencia en el uso de herramientas de computación gráfica, usualmente su experiencia se limita a softwares de dibujo bidimensional, que son una extrapolación análoga al dibujo en papel, por lo que en muchos casos este modelo previo atenta contra la construcción de objetos virtuales, por lo que se dificulta la reestructuración del modelo mental para la ejecución de la nueva tarea. Así, los sujetos tienden a usar muchos más procedimientos de los que realmente necesitan para ejecutar una determinada tarea. Dada esta condición de fijeza funcional del modelo previo, es necesario mostrar desde los primeros momentos de la interacción de los sujetos con la nueva herramienta, las ventajas de la misma así como el conocimiento general de su estructura y funcionamiento, proponiéndoles tareas en las que interactúen directamente con el espacio tridimensional, para que el modelo de dibujo bidimensional se reestructure y se construyan nuevos modelos mentales de modelación en tres dimensiones.

- **Los modelos mentales contienen imágenes:** tanto bidimensionales como tridimensionales, las cuales pueden aportar mayor información que las proposiciones. Estas imágenes contienen información relativamente fácil de manipular y procesan la orientación espacial. También en este punto los arquitectos y urbanistas están altamente entrenados en la tarea de “leer” y almacenar imágenes, poseen un bagaje cultural, gran capacidad de almacenamiento de información gráfica, son capaces de hacer lecturas de la información gráfica evidente e inferir los elementos no explícitos de dicha información. Por ejemplo, ante la visualización desde un punto de vista concreto de configuración volumétrica tridimensional de un sector de ciudad, nuestros sujetos pueden, con relativa facilidad, transformar esta realidad en una representación bidimensional o tridimensional y, así mismo, a partir de una imagen bidimensional pueden inferir las características volumétricas de dicho sector que no son explícitas en la imagen previa.

- **Los modelos mentales son funcionales:** contienen analogías de los aspectos dinámicos de las situaciones. Aunque esta

mecánica de modelación del funcionamiento del evento u objeto exterior no necesariamente sea correcta. Los modelos mentales generan reglas que pueden ser útiles aunque contengan falsas creencias (Norman, 1983). "La característica esencial de un modelo es su rol funcional" (Johnson-Laird, 1983). Nuestro propósito es que los estudiantes reestructuren su modelo mental de ejecución de la tarea de representación gráfica y construyan, a partir de éste, otro modelo mental relacionado que le permita elaborar representaciones gráficas con el medio digital. Para que este nuevo modelo sea verdaderamente funcional, proponemos que la tarea instruccional se base fundamentalmente en la interacción de los sujetos con la herramienta y que la ejecución en sí misma sea un feedback de la efectividad del modelo mental que se está construyendo.

4. Metodología experimentada: la aplicación de las teorías

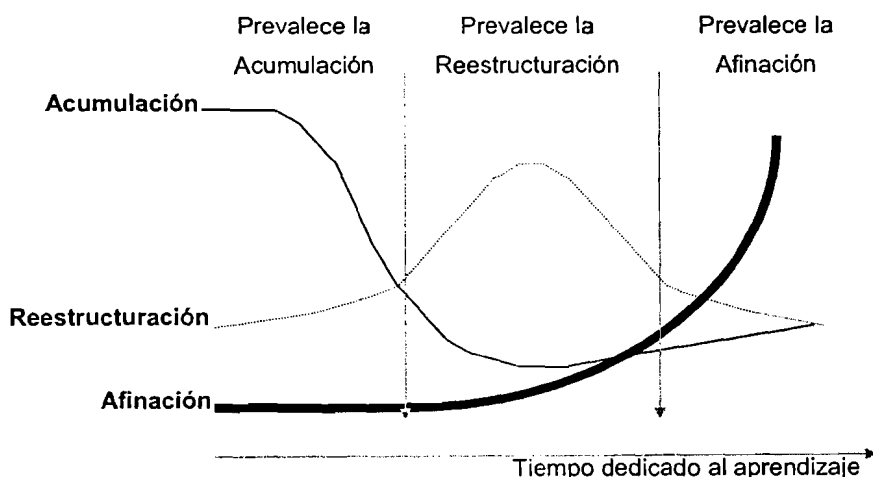
4.1 El aprendizaje complejo

En nuestro trabajo hemos aplicado la noción de modelos mentales al desarrollo de estrategias de enseñanza orientadas hacia un dominio específico: Computación Gráfica Tridimensional. Requerimos propiciar en los estudiantes la construcción de un tipo de modelo mental para un sistema particular por interpretación de la estructura de la percepción visual y de las acciones de funcionamiento. Este modelo mental incluye conocimientos de los insumos y salidas del sistema y de sus operaciones y funciones. Según Park & Gittelman (1995), el modelo mental relacionado con sistemas tecnológicos contiene dos tipos de conocimientos, uno sobre cómo trabaja el objeto y otro sobre cómo ejecutar la tarea con dicho objeto.

Como hemos venido diciendo, tomamos en cuenta que ante cualquier situación de aprendizaje, los sujetos poseen conocimientos previos almacenados en la memoria y que este almacén posee una estructura de relaciones que permite que los conocimientos se activen y apliquen en distintas situaciones. Esta información se aloja en la memoria en forma de representaciones mentales. De esta forma, tanto en el entrenamiento en el uso de herramientas computarizadas de representación tridimensional, como en el conocimiento espacial, hemos centrado nuestra atención en los aportes de la Psicología

Cognitiva relacionados con los denominados modelos mentales, teniendo en cuenta las fases temporales del aprendizaje complejo: *acumulación*, *reestructuración* y *afinación* (Norman, 1978) y su sucesión (véase Figura 2).

Figura 2
Fases temporales del aprendizaje complejo: acumulación, reestructuración y afinación



Ante el aprendizaje de un tópico nuevo, inicialmente prevalece la acumulación de información nueva que incorporamos a nuestra estructura mental. Posteriormente, prevalece la reestructuración de nuestros modelos mentales, lo que implica un proceso de aprendizaje de nuevos tópicos. Finalmente, luego de un tiempo adecuado de aplicación, predomina la afinación de estos modelos mentales, los cuales se hacen más eficientes para resolver determinados problemas. Lo importante de estas fases propuestas por Norman consiste en que en el aprendizaje complejo la variable tiempo es esencial; los modelos mentales que construimos sobre un determinado tema requieren mucha experiencia de aplicación para afinarse (véase Figura 3).

Figura 3
Ecuación del aprendizaje complejo

$$APRENDIZAJE = \frac{TIEMPO \text{ NECESARIO}}{TIEMPO \text{ DEDICADO}}$$

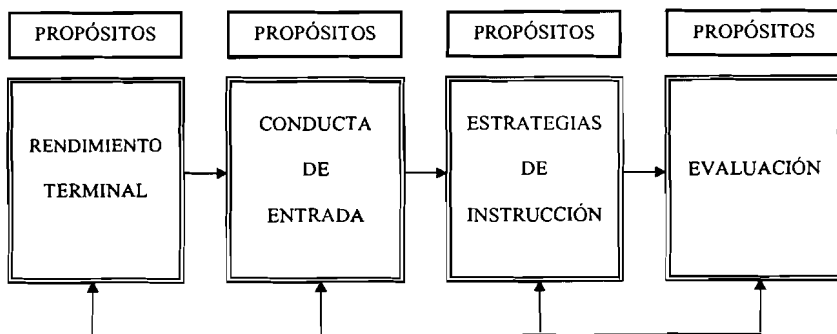
Una ecuación sencilla delimita el aprendizaje como una relación proporcional entre el tiempo necesario para el aprendizaje, el cual depende de la complejidad de los contenidos y de los materiales con que se cuenta, y el tiempo verdaderamente dedicado para ello.

Nuestro propósito de intervención instruccional ha sido el de generar las estrategias y materiales necesarios para propiciar la *reestructuración* de los *modelos mentales* de nuestros estudiantes, en cuanto a la ejecución de tareas de representación tridimensional con herramientas computacionales. Durante nuestros cursos, los participantes *acumulan* suficiente información conceptual y operacional por medio de la interacción constante con la herramienta computacional. Este alto número de procedimientos produce una reestructuración de sus modelos mentales evidenciada en el aprendizaje logrado. La aplicación continua de lo aprendido en la actividad profesional, genera la *afinación* de los *modelos mentales* construidos durante el aprendizaje sistemático que hemos propuesto. Veamos ahora la forma en la cual hemos organizado la intervención instruccional en función de cuatro componentes básicos.

4. 2 Los Componentes de Instrucción

Hemos adoptado el modelo de Glaser (1976) de definición de los componentes de instrucción, para estructurar una metodología eficaz en la enseñanza de los tópicos que nos ocupa, con base en la concepción de aprendizaje que anteriormente expusimos. Según Glaser, todo proceso de diseño instrucción consta de cuatro componentes básicos, el *rendimiento terminal*, la *conducta de entrada*, las *estrategias de instrucción* y la *evaluación*, todos estos interconectados (véase Figura 4).

Figura 4
Modelo de definición de los componentes
de instrucción (Glaser, 1976)



4. 2. 1 El rendimiento terminal

En el rendimiento terminal se describen las estructuras cognoscitivas que definen al ejecutante competente, esto significa la identificación de los contenidos y procesos cognoscitivos que son el propósito de la instrucción. Este es uno de los pasos más importantes en el diseño de materiales instruccionales del tipo de conocimiento que nos ocupa, ya que implica la selección de los contenidos a ser incluidos, las operaciones o ejecuciones que se esperan, y la secuencia en la que deben presentarse dichos contenidos. En este componente comenzamos por realizar un análisis de tareas con base en los productos que se espera que los participantes ejecuten una vez terminada la instrucción, esto es el conjunto de representaciones digitales tridimensionales, relativas al diseño urbano, que los estudiantes deben realizar con la herramienta computacional que pretendemos enseñar. Estos productos consisten en construcciones virtuales tridimensionales que representan la realidad morfológica un sector concreto de ciudad seleccionado, las modificaciones a que se ha sometido dicha representación mediante propuestas de intervención y el cálculo de distintas visualizaciones del sector (isometrías, perspectivas, etc.).

Cada uno de estos productos se desglosa en función de los comandos y conceptos de la herramienta computacional que son necesarios para la elaboración de los productos esperados. Estos

son nuestros *contenidos instruccionales* o *rendimiento terminal*. Esta selección se hace necesaria puesto que las herramientas de computación gráfica son muy complejas y ofrecen toda una gama de opciones de uso, nuestro propósito es abarcar los procesos que corresponden a las necesidades específicas del diseñador urbano en función de los productos esperados.

Pasamos luego a la definición de la secuencia en que van a ser presentados los contenidos de instrucción. Consideramos indicado presentar estos contenidos en el orden generado por la experiencia de ejecución de proyectos, esto es dividirlos en tres módulos: a) la manipulación del modelo tridimensional digital existente, generalmente desactualizado y con muchos errores; b) La construcción de nuevos elementos tridimensionales y c) la obtención de vistas y perspectivas. Los contenidos a ser incluidos en cada módulo se ordenan secuencialmente para ser presentados según su complejidad. Es muy importante recordar que en las primeras sesiones de trabajo pueden obviarse los detalles de interacción con el computador y hacer énfasis en la inducción de las ventajas de la herramienta, una visión global de la misma propiciará la construcción de modelos mentales apropiados y reducirá la posible resistencia de los modelos mentales previos.

Como producto de un sencillo análisis de tarea, especificamos los contenidos de instrucción, delimitándolos según su naturaleza en declarativos y procedimentales (conceptos y ejecuciones). Los ubicamos en cada uno de los tres módulos y decidimos además su secuencia en la que van a ser presentados. Procedemos luego a definir el segundo componente de instrucción: la conducta de entrada.

4. 2. 2 La conducta de entrada

La conducta de entrada consiste en determinar las particularidades cognoscitivas del estudiante prototipo a quien está dirigida propiamente la instrucción, cuáles son las características y el nivel de afinamiento de los modelos mentales previos de los sujetos de instrucción en cuanto a la ejecución de herramientas computacionales de representación tridimensional. En este componente tenemos dos posibilidades. La primera es realizar un diagnóstico con los posibles participantes para obtener información sobre su nivel de aprendizaje en los tópicos a estudiar y definir luego el rendimiento terminal esperado. Esto sucede cuando se trata de un proceso de

entrenamiento a un grupo pequeño que trabajará en un proyecto específico. La segunda posibilidad consiste en inferir dichos conocimientos previos en función de las características de los profesionales a quien se pretende dirigir la instrucción, con base en su formación profesional y la experiencia en cursos anteriores, esto implica un proceso de selección de los estudiantes. En lo que aquí exponemos, nos hemos centrado en esta segunda posibilidad, en sujetos a ser entrenados como parte de una asignatura de postgrado en diseño urbano, que participan de un proceso de selección y están conformados por arquitectos o urbanistas.

Estos sujetos se han caracterizado por un notable entrenamiento tanto en la representación mental de conocimiento espacial como en el uso de herramientas tradicionales de representación bidimensional; el dibujo a mano, la perspectiva, la geometría plana, entre otros. Tienen conocimientos sobre los códigos del lenguaje propio de los arquitectos que les permiten obtener información detallada de un plano y producir información gráfica que contiene los elementos esenciales para su lectura dentro del mismo código. Demuestran gran capacidad para obtener información gráfica no explícita. Realizan con relativa facilidad operaciones mentales como rotaciones y traslaciones. En definitiva, sus modelos mentales en cuanto al conocimiento espacial son bastante afinados.

Por otro lado, generalmente no tienen o tienen muy poca experiencia sistemática en herramientas en computación gráfica aplicadas a la construcción de espacios virtuales, pero sí un conocimiento mínimo de los dispositivos de entrada y salida de información de un computador (teclado, ratón, monitor, discos, etc.). Los modelos mentales de nuestros sujetos de instrucción relativos a tarea de representación gráfica contienen, por su puesto, claros elementos idiosincráticos. Los sujetos parecieran activar su modelo de la representación tradicional y tratar de aplicarlo a la herramienta computacional. Según nuestra experiencia, es muy notoria la persistencia del modelo previo, muchas personas no iniciadas en el campo de la representación tridimensional por computadora y con mucha experiencia en el dibujo por computadora como extrapolación de las técnicas tradicionales de representación tienden, por ejemplo, a trabajar con el computador bajo este esquema. Otro ejemplo es

que comienzan trabajando en una vista en planta sea cual sea la tarea representacional que se plantee, tal y como se realiza por los medios tradicionales, mostrando así una incompletitud del modelo, no toman en cuenta que para resolver algunos problemas, puede ser más eficaz usar otra vista, como una frontal (fachada). Es decir, que el modelo previo persiste y sólo la construcción vía aprendizaje del modelo relacionado con la herramienta computacional hará más eficaz la tarea. El apego a la representación bidimensional es tal, que los sujetos tratan de, por ejemplo, dibujar la representación bidimensional de una isometría que simula la tridimensionalidad. Se trata, pues, de que comprendan las ventajas de la construcción del modelo tridimensional y a partir de ésta obtener una gran diversidad de visualizaciones. Estos elementos tienden a prevalecer dificultando inicialmente la construcción de los nuevos modelos mentales o la reestructuración de los existentes. Ahora bien, dada la persistencia del modelo mental previo, es necesario que los sujetos encuentren ventajas en la modelación tridimensional directa y que con una menor cantidad de operaciones se obtienen una gran versatilidad de visualizaciones que permiten evaluar con mayor detalle el sector de estudio como una configuración volumétrica.

El nuevo modelo mental sólo se estructura si se evidencian francas ventajas sobre el modelo existente, es por ello que es muy importante que el aprendizaje inicial no resulte demasiado engorroso, que permita inducir en los participantes el hecho de que la nueva herramienta es ventajosa. Sin embargo, ha sido necesaria una constante revisión de las propuestas instruccionales evaluando las ejecuciones de los participantes en cada curso y haciendo las modificaciones necesarias para los siguientes.

4. 2. 3 Las estrategias de instrucción

En el tercer componente del proceso, a saber, las *estrategias de instrucción* es donde propiamente elaboramos los instrumentos docentes, cuya estructura depende de los dos componentes anteriores. En este momento desarrollamos los mecanismos para la aplicación instruccional de los contenidos (comandos y conceptos), en la secuencia de presentación definida y valiéndonos de las características probables de los sujetos a quienes nos dirigimos.

Los instrumentos docentes que proponemos se basan en una interacción continua, desde la primera sesión, con la herramienta computacional. De hecho, usamos el término **sesión** en vez de **clase** para enfatizar que el aprendizaje se logra en la interacción, muy inductiva y dirigida, de los aprendices con los contenidos de instrucción seleccionados. Para ello elaboramos lo que hemos denominado *manual instruccional*.

Partiendo de que el estudiante **siempre** está interactuando con el computador, este manual es un material escrito, elaborado para los distintos cursos que, en cada sesión, guía paso a paso la ejecución del participante; esto es, confronta su modelo mental previo con la ejecución de una nueva tarea. La intervención magistral del docente es mínima, se reduce a explicaciones generales al principio de la sesión y como cierre conclusivo de la sesión anterior. La tarea fundamental del docente consiste en responder y elaborar preguntas particulares que ayuden a la resolución de problemas individualmente. En este sentido, el docente debe interactuar con cada estudiante proporcionando fundamentalmente instrucciones de ejecución. Proponemos incluso que el docente no debe manipular los dispositivos de entrada de información del computador (teclado, ratón), sino formular una suerte de diálogo socrático en el cual los estudiantes reciben información a través de preguntas y explicaciones de procedimiento, de forma que el resultado de la ejecución en sí mismo es un feedback para el aprendiz.

El manual instruccional pudiera calificarse como un material de auto instrucción, sin embargo, hacemos la diferenciación con de este tipo de instrumentos porque está elaborado de forma que el docente está presente en las sesiones de clase. Además, en determinados momentos estas guías de trabajo remiten a consultas con el docente para instrucciones que pueden ser expuestas mas fácilmente en forma verbal o para corroborar la ejecución adecuada de algún ejercicio propuesto. En los ejercicios de aplicación que se proponen en el material se aplican cada uno de los contenidos trabajados, estos tienen obviamente una función evaluadora, pero sobre todo debe ser una evaluación formativa en el sentido de presentar situaciones de aplicación del conocimiento como una situación de aprendizaje.

La metodología de enseñanza que estamos planteando se fundamenta en la ejecución dirigida, es por esto justamente que los ejercicios propuestos son fundamentalmente una situación de aprendizaje. La experiencia en el tópico de enseñanza de nuestro interés nos ha indicado que estos ejercicios como elemento de aprendizaje han de cumplir con tres condiciones: a) deben ser una aplicación de los contenidos aprendidos; b) deben ser significativos del oficio del diseñador urbano y c) deben tener valor estético. Deben ser una aplicación directa de los comandos aprendidos hasta el momento de la propuesta del ejercicio, no deben contener comandos que no se hayan trabajado. Debe ser significativo en el sentido que sea una porción de la tarea de representación tridimensional del diseñador urbano; los elementos a representar deben estar relacionados con la tarea de final que es el propósito del aprendizaje: la representación de la configuración volumétrica de un sector urbano. El valor estético se refiere a algo muy arraigado en la cultura de arquitectos y urbanistas, esto es que las imágenes presentadas como propuestas de aplicación deben estar acordes con los valores de belleza aceptados.

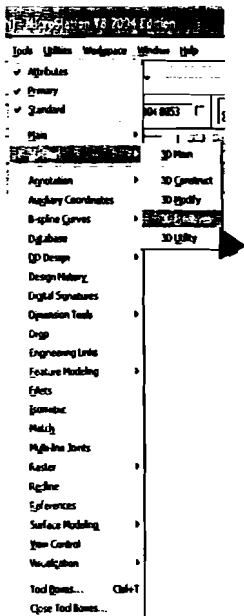
Es claro que el material debe contener información gráfica, preguntas, ejercicios y como hemos señalado, fundamentalmente indicaciones para que el estudiante active determinado comando y realice pruebas y ejercicios relativos al comando activado.

La modalidad de enseñanza que proponemos para el tópico de computación gráfica tridimensional pretende activar el modelo mental del sujeto relacionado con la ejecución propuesta y que luego la práctica reestructure y afine dicho modelo mental. En los ejemplos 1 y 2 mostramos un pequeño extracto del material instruccional correspondiente a una sesión de trabajo:

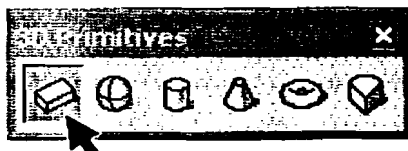
- Seleccione en el **Menú Tools** (herramientas) la opción **3D Main** en el comando **3D Primitives**.

Ejemplo 1

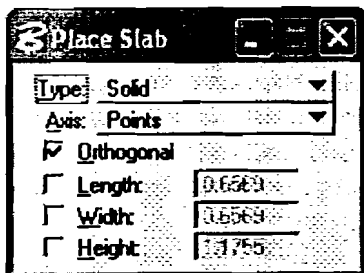
Propósito: construir objetos tridimensionales primitivos



- Aparece el cuadro de diálogo para Construir elementos primitivos tridimensionales.
- Active la primera opción para construir paralelepipedos.

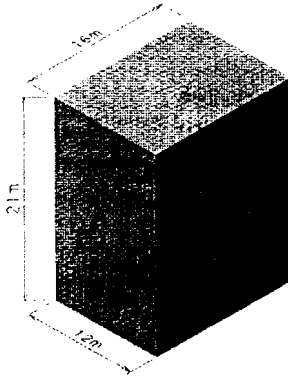


- Establezca las especificaciones que se muestran.



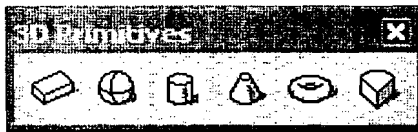
Seleccionando tres puntos adecuados en el espacio se modela el elemento tridimensional.

- Utilizando la herramienta de **Entrada de Precisión** ya trabajada, construya un paralelepípedo con las dimensiones que se muestran.



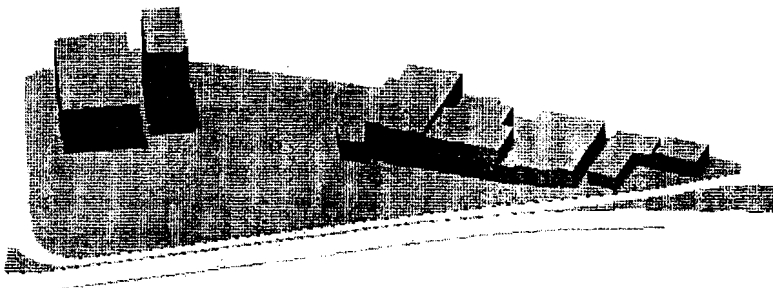
El resto de las opciones de **Construcción de objetos primitivos** funciona de manera similar.

- Realice varias pruebas hasta que se familiarice con la herramienta.



Ejemplo 2. Ejercicio de aplicación

Active el documento **ejercicio3-2.dgn** que se encuentra en el servidor. En él se muestra una configuración volumétrica de un sector urbano. Usando la herramienta de construcción de elementos primitivos 3D, complete el tejido en el espacio vacío.



En este apartado los estudiantes aplican los contenidos previamente aprendidos, conocen un nuevo comando, lo manipulan y posteriormente realizan un ejercicio en el que aplican esencialmente el nuevo contenido aprendido, pero también los contenidos acumulados.

4. 2. 4 La evaluación

Este último componente del proceso de instrucción que hemos definido, la evaluación, la entendemos como una relación entre la conducta de entrada de los estudiantes y el rendimiento terminal esperado. Es decir, los modelos mentales relativos a la tarea instruccional propuesta, de los estudiantes que ingresan al curso, confrontados con sus modelos mentales una vez que termina. Esto implica una indagación de las destrezas de los estudiantes en la resolución de los problemas, de sus percepciones del proceso y de la herramienta computacional. En la práctica llevamos a cabo dos evaluaciones distintas: la de la ejecución de los participantes y la del desarrollo del curso. La evaluación del aprendizaje de los participantes se determina en función de ejercicios terminales que resumen la ejecución y que incluyen un trabajo final de intervención virtual de un sector urbano. Se trata de obtener información tanto del resultado de los ejercicios como el proceso llevado a cabo para su realización. La evaluación del curso implica indagar la percepción que los estudiantes sobre el desarrollo del mismo a través de instrumentos diseñados con este fin, de forma que cada curso ofrezca la posibilidad de que los estudiantes generen insumos para la evaluación del mismo y la reestructuración de los siguientes.

5. Consideraciones finales: el impacto

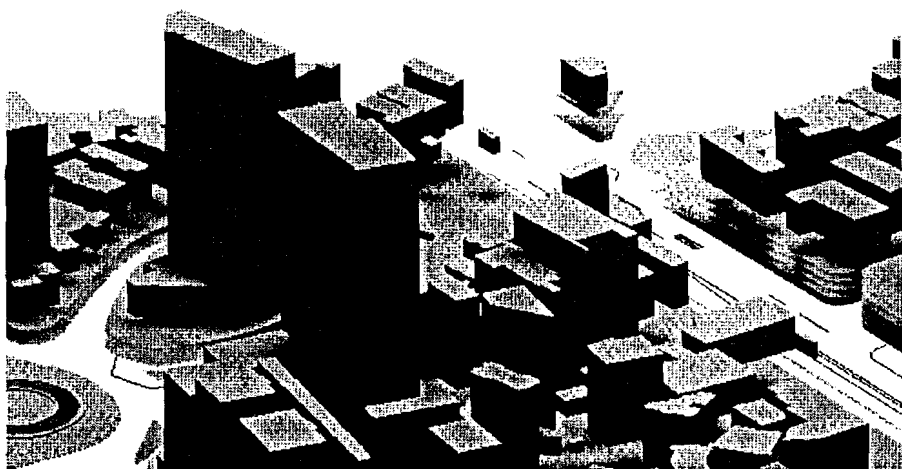
La experiencia de incorporación de las herramientas computacionales de representación tridimensional a nuestros cursos de postgrado, con base en la metodología y la concepción de aprendizaje expuestos en este trabajo, ha generado resultados que consideramos favorables.

Los egresados de nuestros cursos en el Instituto de Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela han aplicado las pericias aprendidas en nuestros cursos, en la ejecución de las presentaciones de importantes proyectos de diseño y planificación urbanos. Podemos

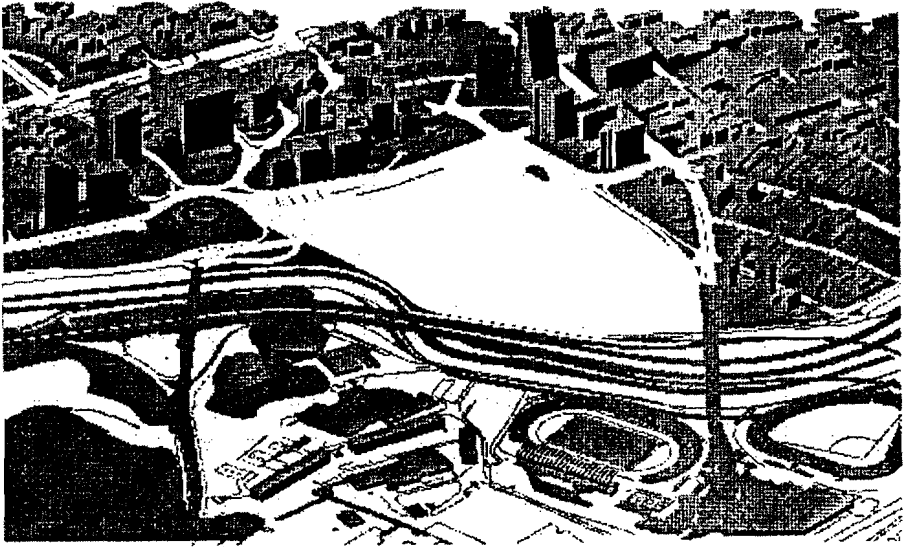
nombrar los siguientes: Plan de Rehabilitación del Casco Central de Chacao; Plan de Rehabilitación del Casco Histórico de Ciudad Bolívar; PDUL del Municipio Libertador; Plan Rector de la Ciudad Universitaria de Caracas; Plan de Diseño Urbano para el Casco Central de Maturín, entre otros. En las gráficas (véase anexos) se muestran algunos ejemplos de modelación tridimensional de la Ciudad Universitaria de Caracas y su entorno producida por los alumnos. La integración de las herramientas computacionales de representación tridimensional a los cursos de postgrado no ha sido fácil. La metodología que hemos aplicado nos ha permitido sistematizar la incorporación de la computación gráfica al ejercicio profesional. Consideramos que la experiencia obtenida en los proyectos de diseño y planificación urbana debe continuar sirviendo como insumo para la reestructuración y redefinición de la enseñanza, por cuanto el análisis y la reflexión sobre este punto permanecen abiertos.

Anexos

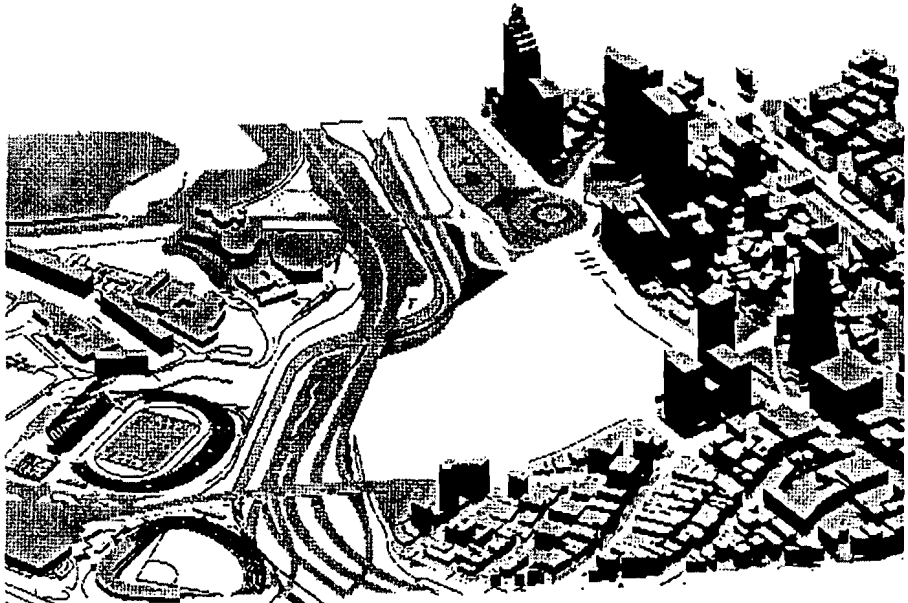
Contexto UCV 1



Contexto UCV 2



Contexto UCV 3



Referencias

- Bonatti, L. (1994). Propositional reasoning by model? *Psychological Review*, 101(4).
- Bondei, T. (1995). Spatial mental models: What is the nature of the spatial images created by words? De <http://www-csli.stanford.edu/csli/9394reps/interaction9394-tversky2.html>
- Bottino, R. M. & Chiappini, G. (1995). ARI-LAB: Models, issues and strategies in the design of a multiple-tools problem solving environment. *Instructional Science*, 23, 7-23.
- Duchastel, P. (1990). Cognitive design for instructional design. *Instructional Science*, 19, 437-444.
- Gentner, D. & Stevens A. (Eds.). (1983). Introduction. *Mental Models*. (pp. 1-6). Hillsdale: Lawrence Earlbaun Associates Publishers.
- Glaser, R. (1966). El diseño de instrucción. En Merrill (Ed.), *Instructional Design Readings* (pp. 18-37), Perentice Hall (MT).
- Glaser, R. (1976). Components of psychology instructions: Towards a Science of Design. *Review of Educational Research*, 46, 1-24.
- Glaser, R. H. (Eds.). (1978). Hacia una psicología de la instrucción. *Advances in instructional design reading* (Vol. 1) (pp. 1-12). Hillsdale: LEA (MT).
- Glucksberg, S., Keysar, Boaz & McGlone, M. (1992). Metaphor understanding and accessing conceptual schema: Reply to gibbs. *Psychological Review*, 99 (3).
- Hefley, B. (1997). Human-computer interaction a multidisciplinary approach. De http://www.syd.dit.csiro.au/hci/hefley/general_hci.html
- Hong, E. & O'Neil, H. (1992). Instructional strategies to help learner build relevant mental models in inferential stadistics. *Journal of Educational Psychology*, 84 (2).
- Irazábal, C., Martín, B., & Marcano, F. (1993). Evaluación morfológica de proyectos urbanos con asistencia computarizada. *Trabajo de Investigación. Instituto de Urbanismo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Johnson- Laird, P., Byrnes, R. & Schaecken, W. (1992). Propositional reasoning by model. *Psychological Review*, 99 (3).
- Johnson- Laird, P., Byrnes, R. & Schaecken, W. (1992). Why models rather than rules give a better account of propositional reasoning: A reply to Bonatti and to O'Brien, Braine, and Yang. *Psychological Review*, 101(4).
- Johnson- Laird, P. N. (1987). The mental representation of the meaning of the word. *Cognition*, 25, 189-211.
- Johnson- Laird, P. N. (1988). *The computer and the mind: An introduction to cognitive science*. Londres: Fontana.

- Johnson- Laird, P. N. (1989). Mental models. En Michael I. Posner (Ed.), *Foundations of Cognitive Science* (cap. 12). Massachusetts.
- Johnson- Laird, P. N. (1991). Reasoning with propositions. *Deduction* (cap. 3), Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Johnson- Laird, P. N. (1992). El pensamiento como habilidad. *Lecturas de psicología del pensamiento razonamiento solución de problemas y desarrollo cognitivo* (cap 7), Madrid: Alianza Editorial.
- Jones, A. (1993). Conceptual models of programming environments: How learners use the glass box. *Instructional Science*, 21, 473-500.
- Keel, P. (1998). The society of mind essays on reconsideration, logic, and design. De <http://www.destech.mit.edu/keel/classes/6868/som01.html>
- Marcano, F., Martín, B. & Irazábal, C. (1992). Desarrollo de un programa computarizado de evaluación tridimensional: su aplicación a la docencia de postgrado e investigación en diseño urbano. *Trabajo de Investigación. Instituto de Urbanismo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Martín, B. & Montes, I. (1994). Diseño instruccional para el paquete computarizado Mac Architrion dirigido al diseño urbano, basado en la jerarquización de los conceptos matemáticos implicados. *Tesis de Grado*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Munzner, T. (1995). Creating mental models: Problems in visualizable, pintures and mathematics, goals and methods. De http://www.geom.umn.edu/doc_s/research/ieee94/node4.html
- Nguyen- Xuan, A. Nicaud, J. F. & Gelis, J. M. (1995). An experiment in learning algebra with an intelligent learning environment. *Instructional Science*, 23, 25-45.
- Norman, D. (1983). Some observations on mental models. En Gentner & Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp 7-14). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Norman, D. & Donald, A. (1978). Hacia una teoría del aprendizaje complejo. *Cognitive Psychology and Instruction* (pp. 39-48). Nueva York: Plenum.
- O'Brien, D., Braine, M. & Yang, Y. (1994). Propositional reasoning by mental models? Simple to refute in principle and practice. *Psychological Review*, 101 (4).
- Park, O. & Gittelman, S. (1995). Dynamic characteristics of mental models and dynamic visual displays. *Instructional Science*, 23, 303-320.
- Pearce, J. (1994). Similarity and discrimination: A selective review and a connectionist model. *Psychological Review*, 101 (4).
- Pérez, R. Fleming, J. & Emery, C. (1995). Instructional design expertise: A cognitive model of design. *Instructional Science*, 23, 321-349.

- Pillay, H. (1994). Cognitive load and mental rotation: Structuring orthographic projection for learning and problem solving. *Instructional Science*, 22, 91-113.
- Pсотka, J. (1995). Immersive training systems: Virtual reality and educational and training. *Instructional Science*, 23, 405-431.
- Raper, J. (1998). Formal models of common-sense geographic worlds. De <http://www.geog.buffalo.edu/ncgia/i21/papers/raper.html>
- Ratcliff, R., Sheu, C. & Gronlund, S. (1992). Testing global memory models using ROC curves. *Psychological Review*, 99 (3).
- Reader, W. & Hammond N. (s. f.). Computer-based tools to support learning from hypertext: Concept mapping tools and beyond. London mental models group. De <http://www.ioe.ac.uk/tescwwr/LMM.html>
- Rodenhausen, H. (1992). Mathematical aspects of kintsh's model of discourse comprehension. *Psychological Review*, 99 (3).
- Santamaría, C. (1995). *Introducción al razonamiento humano*. Madrid: Alianza.
- Staddon, J., Davis, D., Machado, A. & Palmer, R. (1994). Cumulative effects model: A response to Williams. *Psychological Review*, 101(4).
- Van Joolingen, W. & Jong De, T. (1991). Supporting hypothesis generation by learning exploring an interactive computer simulation. *Instructional Science*, 20, 389-404.
- Ward, S., Byrnes, J. & Overton, W. (1990). Organization of knowledge and conditional reasoning. *Journal of Educational Psychology*, 82 (4).
- Weed, K. & Bouchard, E. (1990). Metamemory and attributions as mediators of strategy and recall. *Journal of Educational Psychology*, 82 (4).
- Williams, B. (1994). The role of probability of reinforcement in models of choice. *Psychological Review*, 101 (4).
- Williamms, D. (1996). Multimedia, mental models and complex takes. De d.m.l.williams@lut.ac.uk