

Conocimiento como diseño

*Carlos Alberto Garzón Gaitán**

Introducción

La educación en ingeniería requiere cambios urgentes si el país quiere desarrollar en los jóvenes nuevas capacidades tecnológicas relacionadas con la innovación.

La época de compradores de tecnología con poco criterio de selección y baja capacidad de asimilación debe superarse y avanzar hasta que Colombia se convierta en generadora de tecnología, en diseñadora de sus propios espacios y objetos.

De hecho, estos cambios en las capacidades tecnológicas no sólo son retos que se le plantean a la educación sino especialmente a todo el sistema económico de una nación e involucran la concepción y puesta en marcha de lo que se ha venido llamando el Sistema Nacional de Innovación, S.N.I.

El presente trabajo pretende ser una pequeña contribución a ese propósito, abocando el diseño como una forma de aprender, de generar conocimiento y capacidades tecnológicas, y corresponde a la tesis de maestría en Pedagogía de la Tecnología realizada por el autor en la Universidad Pedagógica Nacional, bajo la dirección del Dr. Edgar Andrade Londoño.

Un título tan ambicioso "Conocimiento como diseño" puede generar expectativas muy grandes en

los lectores del presente artículo; en realidad se trata de una primera aproximación al tema, que retomando múltiples experiencias de expertos en la educación en tecnología abre innumerables posibilidades para trabajos posteriores. Desde ya los invito a incursionar profundamente en el tema del diseño, no sólo como estrategia pedagógica sino con todas las implicaciones que tiene para generar capacidades tecnológicas en el país.

El trabajo tiene un hilo conductor: la educación en ingeniería y la preocupación acerca de cómo mejorarla.

Una estrategia de conocimiento como diseño para educación en ingeniería parte de la diferenciación fundamental entre información y conocimiento y, como consecuencia de esto, la diferencia entre diversos tipos de aprendizaje como aprendizaje por repetición y aprendizaje significativo.

Específicamente se busca precisar qué papel desempeña el diseño, en todo el sentido de la palabra, es decir, como modelamiento cognitivo en dos direcciones: en la creación de capacidades tecnológicas y como proceso cognitivo, como la mejor manera de aprender a aprender.

El artículo tiene dos grandes partes: una síntesis de los fundamentos conceptuales de la educación en ingeniería, resaltando las competencias deseadas, el diseño como una forma de tecnología, como problema débilmente estructurado y las particularidades de estos conceptos para la educación en ingeniería.

* Ingeniero Químico, MSc. en pedagogía de la tecnología, profesor asistente de la Universidad Nacional de Colombia.

La segunda parte puede considerarse como experimental, allí se evalúan cuatro tipos de experiencias desarrolladas con problemas débilmente estructurados, realizadas con estudiantes y profesionales de ingeniería química, alrededor del tema del transporte neumático de sólidos por gases. Las dos primeras se llevaron a cabo con estudiantes de quinto semestre, los cuales, desde el punto de vista del diseño curricular, pueden considerarse diseñadores "novatos"; las otras dos experiencias tuvieron como sujetos a un estudiante a punto de graduarse y a un Ph.D. en ingeniería química.

Las cuatro experiencias fueron evolucionando en complejidad en la medida en que los problemas planteados eran cada vez más débilmente estructurados, así: por ejemplo, a los grupos que diseñaron sólo hasta dimensionamiento, pertenecientes al curso A, se les suministró la estructura básica de la solución: los componentes mínimos del sistema, los materiales a transportar, la altura mínima a alcanzar en el proceso y algunas indicaciones para la ubicación espacial del equipo.

A los grupos que diseñaron y construyeron, pertenecientes al curso B, se les planteó: "el conjunto de sólidos debe estar compuesto por dos tipos de material de distinta densidad; los dos tipos de sólidos deben ser separados antes de ser descargados en los recipientes de destino, el diseñador debe seleccionar una variable que considere clave para el proceso y controlarla".

El problema planteado al experto estaba menos estructurado, por cuanto se le dijo simplemente: "diseñe un dispositivo que permita tostar café molido empleando un lecho fluidizado caliente y enfríe repentinamente el café después de tostado; el dispositivo diseñado debe colocarse dentro de una cafetería, a la vista del público, y como un elemento decorativo y publicitario".

El primer conjunto de grupos, pertenecientes al curso A, sólo dimensionaron la solución empleando para ello un mes; el segundo conjunto de grupos, pertenecientes al curso B, diseñaron, construyeron y operaron la solución empleando también un mes; el estudiante a punto de graduarse a quien llamaremos "asistente" desarrolló la fase conceptual del diseño durante tres meses y el Ph.D. a quien llamaremos "experto" desarrolló, en una sesión grabada de dos horas, la solución teórica al problema planteado.

Los integrantes de los cursos fueron organizados en subgrupos cuya composición fue voluntaria y se documentó todo el proceso en bitácoras en las cuales ellos registraban sus avances en la solución del

problema, incluso las preguntas que realizaban a quienes consultaban. Una vez resuelto el problema se hizo una sesión grabada con cada grupo en la cual explicaban su estrategia de solución y se aclaraban aspectos clave del proceso.

La información consignada en las bitácoras y la cinta grabada se empleó para deducir e ilustrar el proceso seguido en la mente, el modelamiento cognitivo y el ciclo de aproximaciones sucesivas a la solución por parte de cada grupo o individuo, uno de cuyos ejemplos se ilustra más adelante.

Para deducir la estrategia de diseño seguida por el experto se utilizó la técnica de análisis de protocolos.

Primera parte: diseño como conocimiento

Se presentan a continuación las características del diseño genérico, su dimensión cognitiva y las partes que componen un proceso general de diseño, lo repetible, lo común, aquello que puede ser tomado como constante en los procesos de diseño, sin importar la característica de la cosa diseñada.

El Royal College of Art² define el diseño como: El área de la experiencia humana, las habilidades y entendimientos que reflejan la preocupación del hombre por la cultura material y con el hacer y producir; esto es, con la apreciación y adaptación de sus alrededores a la luz de sus necesidades materiales y espirituales. En particular, pensando no exclusivamente en relación con la configuración, composición, significado, valor y propósito en un fenómeno humano.

El área del diseño en la educación abarca todas aquellas actividades y disciplinas que se caracterizan por ser antropocéntricas, relacionadas con aspiraciones y operacionales; esto es, que están relacionados con el hombre, con un valor evidente, aspectos como los sentimientos o juicios y que involucran elementos como planear hacer o producir, evaluar y mejorar.

En el contexto de la educación, el «diseño» se define como un área de lo humano y, por tanto, una preocupación educacional.

La actividad de diseño -y por extensión, la actividad educativa en diseño- se concibe como el ejercicio exitoso de un conjunto de habilidades en la planificación de los hechos y de las acciones y en la solución de problemas. Por eso se dice que diseñar es hacer moviéndose desde un presente incierto hacia un futuro desconocido.

El 'conocimiento' como información, aquel que predomina en la educación tradicional, proporciona un punto de vista pasivo del conocimiento, que subraya el conocimiento almacenado en vez del conocimiento como implemento de acción.

² Phill Roberts, "El lugar del diseño en educación tecnológica". En *Innovations In Science and Technology Education*, edited by David Layton, UNESCO Publishing, France, Vol. V (1994).

El conocimiento como diseño es un primer postulado para construir una teoría del conocimiento para la enseñanza y el aprendizaje³.

El diseño es una capacidad humana fundamental, la capacidad de diseño es análoga a la capacidad para el lenguaje. La habilidad para diseñar, al igual que la habilidad del lenguaje, refleja una capacidad que todos poseen por lo menos en algún grado.

Los seres humanos concebimos y creamos ambientes que reflejan nuestras aspiraciones; empleamos herramientas y materiales, hacemos juicios alrededor de objetos y lugares, reaccionamos ante mensajes visuales de advertencia, productos, signos, edificios, películas, televisión; en fin, acerca de todo lo que la humanidad ha construido. Cuando se realizan tales actividades estamos -justo como en el lenguaje- haciendo significación. Hacemos deducciones, inferencias, relaciones, cuestionamientos científicos en forma similar a como se hace a través de libros, símbolos matemáticos, representaciones dramáticas o deportes.

El diseñador resuelve problemas «débilmente estructurados», la actividad de diseñar no puede separarse de los objetos de la atención del diseñador. Ese es el campo del diseño, es el resultado del acoplamiento de una capacidad humana del diseñador con el problema hacia el cual éste se orienta. Las distintas clases de problemas a los cuales el diseñador atiende, y los cuales distinguen el campo, son problemas « débilmente estructurados» tal como se presentan los problemas reales del mundo.

Los problemas del diseño son descritos como «débilmente estructurados» debido a que no existe un camino de acercamiento a la descripción de una posible solución solamente por la reducción, transformación u optimización de los datos incluidos en la especificación de requerimientos. Por la misma razón, es muy poco posible determinar si el diseño terminado es el correcto o no, la respuesta única o la respuesta necesaria a los requerimientos.

De hecho, puede ser usualmente más posible establecer si el diseño es una respuesta «apropiada» o «aceptable» a los requerimientos. Puede ser posible juzgar si la respuesta «apropiada» a los requerimientos es mejor o peor que alguna otra respuesta «apropiada». Cuando tales dudas no existen, el problema no es un problema «débilmente estructurado» y hubiera podido entonces resolverse por métodos científicos y matemáticos más que por los métodos del diseñador. Muchos problemas encontrados en el mundo real en diversas profesiones son problemas «débilmente estructurados». Para exten-

der esto a las actividades del currículo debe lograrse que en las instituciones educativas se orientan grandes esfuerzos a tratar con problemas «débilmente estructurados» cuya complejidad vaya creciendo a partir de su propia experiencia.

La estructura del aprendizaje y la de la actividad del diseño son estructuras paralelas, ésta es la tesis central del presente artículo y tiene como consecuencia que la formación de los ingenieros y, en general, de los innovadores, debe darse en una doble dirección: aprendiendo a diseñar y aprender diseñando.

La actividad intencional de diseño o más precisamente, diseñar, depende de una capacidad distintiva de pensar: el modelamiento cognitivo.

El «lenguaje» esencial del diseño es el modelamiento cognitivo. Así como el lenguaje natural es el lenguaje esencial de la humanidad y como la notación (especialmente la notación matemática) es el lenguaje esencial de las ciencias, el modelamiento cognitivo es el lenguaje esencial del diseño. Una persona actuando en el rol del diseñador o de evaluador de diseños forma imágenes en los ojos de su mente acerca de las cosas y sistemas como son, o como pueden ser, los evalúa y los transforma a medida que gana comprensión interior en su estructura y avanza hacia el logro de la calidad deseada confrontando las alternativas de configuración concebibles, presionado por los requerimientos que percibe del entorno.

El modelamiento cognitivo no está limitado a configuraciones espaciales (ni siquiera dentro del campo del diseño, éste está limitado al campo del dibujo o al del modelamiento matemático, éstos son sólo modos particulares). El modelamiento cognitivo es independiente del lenguaje o del sistema de símbolos pero, cuando sea apropiado, los conceptos modelados pueden trasladarse hacia, o ser complementados o expresados en términos del lenguaje o de notación. La imagen es externalizada usualmente a través de modelos y simulaciones, como dibujos, diagramas, maquetas, prototipos y/o lenguaje y notación.

El modelamiento cognitivo puede también ser incorporado en la construcción y promulgación de las respuestas que emergen. Estas externalizaciones capturan y hacen comunicables los conceptos modelados.

No hay que olvidar que lenguaje, pensamiento y conocimiento se hallan directa e indisolublemente ligados. El lenguaje es una condición necesaria para la formación de los pensamientos y para consolidar el conocimiento que tenemos de la realidad, fijar la experiencia adquirida por las comunidades activas y comunicarlo a la sociedad entera y a las generaciones futuras.

³ D. Perkins, *Knowledge as Design*. Hillsdale, New Jersey, 1986.

Diseñar es utilizar la capacidad de modelamiento cognitivo: éste es el medio cognitivo para construir y manipular modelos de la realidad como es y como puede ser en el futuro.

Ocuparse del diseño es actuar dentro y sobre el mundo a través del tratamiento con problemas «débilmente estructurados». Debemos recordar que los problemas no son rompecabezas, los cuales por definición tienen solución junto con las reglas por medio de las cuales pueden reconocerse las soluciones. Diseñar es una actividad intencional, la intención es efectuar un cambio tanto en el ambiente (como actividad educativa) como en el agente de la actividad.

Pero la intención no es solamente causar algún cambio en el ambiente sino también tener sentido de los flujos de nuestra experiencia del mundo, acumular conocimiento. El efecto de esto es poner atención a los estados epistemológicos del conocimiento derivados de los enunciados de diseño y alrededor del conocimiento como un proceso continuo.

El conocimiento generado y adquirido por nosotros es más que y diferente de «conociendo que», y es más que el simple «conociendo como (haciendo algo)». Es más que una competencia experta; es también hacer una «totalidad semántica» que expresa acción, fabricación, conciencia y existencia.

Desde este punto de vista también el diseño puede entenderse como aquello que nos permite sentir que estamos controlando tecnología y tecnologías en vez de sentir que estamos siendo controlados por algún imperativo tecnológico. Concebir el diseño en este sentido es como hacer conciencia en las personas acerca de la realidad construida para dilucidar fenómenos de la moda y el estilo, como también la naturaleza de los fenómenos diseñados permanentemente por una comunidad.

El conocimiento y la cultura material cambian como lo hace el tiempo, y los juicios requieren que los problemas «débilmente estructurados» constituyan una serie de episodios entrecruzados de experiencias continuas desde las cuales, por el énfasis del diseño, somos capaces de hacer significados y de construir conocimiento.

Diseño y lenguaje son lógicamente distintos y también ellos son estructuralmente diferentes, diseñar no tiene una estructura lingüística y, además, el conocimiento del diseño no puede ser identificado con la clase de cosas que pueden ser expresadas por medio de proposiciones.

El modelamiento cognitivo y la solución de problemas débilmente estructurados son procesos diferentes a aquellos que permiten expresar mediante lenguaje las explicaciones científicas o tecnológicas de la cosa diseñada o del principio operacional que sustenta un equipo o proceso o de la experiencia adquirida en el propio diseño.

Toda palabra de por sí ya es una generalización. El concepto es un pensamiento en el cual se reflejan las propiedades generales y diferenciales de los objetos de la realidad; de hecho, cuando se diseña e innova se hacen nuevas conceptualizaciones, se crean nuevos significados, se designa, se nombra, a pesar de que se usen palabras ya conocidas para describir lo nuevo. Podría Newton haber asimilado, sólo por haber escuchado, la palabra «multimedia» o «microprocesador», de algún niño proveniente de un ambiente futuro?

Dado que la asimilación de una palabra implica la abstracción de los caracteres generales y diferenciales del objeto diseñado por ella y su asignación a un determinado complejo fónico, tal asimilación constituye el proceso que consiste en la formación del concepto correspondiente, diseñar es enriquecer el lenguaje y por medio del lenguaje se conceptualiza el diseño.

El conocimiento, que es una función de la actividad de diseño, junto con conocer cómo actuar hábilmente, son realizaciones cognitivas, desarrollos de la mente, los cuales no pueden ser reducidos a declaraciones proposicionales de «conociendo que» (en este caso, alguna cosa).

La tecnología (o tecnologías) son recursos para el diseñador. La potencialidad controvertible de esta afirmación es que la tecnología se usa frecuentemente como si fuera intercambiable con diseño, o como si ésta implicara diseño. En esta percepción la tecnología, como el diseño, se usa tanto como nombre tanto como verbo.

Así, hay que hacer una distinción a ser reconocida entre tecnología como un concepto general y aquella referida a una tecnología particular o la práctica dependiente de una área reconocible de la tecnología. En este sentido, una de las descripciones de la actividad tecnológica deriva de su relación con «conociendo como» y una diferenciación entre tecnología y diseño puede ser que el descriptor principal de la actividad de diseño es su relación con «previendo que», que es la capacidad para prever o no la realidad presente analizándola y modelándola externamente.

El diseño, en el sentido amplio, es el paquete de técnicas⁴, habilidades y aproximaciones que pueden utilizarse para determinar y hacer juicios de las características futuras del mundo industrial, de construcciones, lugares, imágenes y productos. El diseño también es el campo en el cual se establece esta actividad y sus resultados. La industrialización ha incrementado ampliamente el efecto de la actividad del diseño sobre la calidad de vida; todos estamos afectados por el diseño, debido a que el mundo es en gran medida hecho por el hombre.

Manejar el cambio de una manera conveniente es una de las características principales de la actividad de diseño. Esto es importante para la supervivencia individual y social, ser capaz de controlar el cambio y prever sus resultados cualitativos.

La producción en masa ha separado al consumidor del fabricante. El consumidor o el usuario del diseño, necesita un amplio rango de habilidades y entendimientos antes de que él o ella pueda realmente tomar el control de su propio ambiente. El término «*diseño*» es usado para referirse a un campo, y se usa también para referirse a una capacidad distintiva de pensamiento y a una clase distintiva de actividad intencional; y es usado para referirse a un conjunto de funciones esenciales, acción efectiva en y sobre el mundo y la construcción de significación, conocimiento e identidad cultural.

Una educación que incluya experiencias de diseño y de tecnologías, las cuales involucran inevitablemente decisiones cualitativas entre varias competencias alternativas y entre varios caminos viables, ayudará a los estudiantes de ahora y a los ciudadanos del mañana a darse una respuesta consciente a la pregunta acerca de cómo desean vivir.

La estructura del espacio del problema de diseño

En el diseño aparecen dos grandes componentes: el espacio problema y el ambiente de tarea, cada uno de los cuales tiene su propia estructura y elementos constituyentes.

Goel & Pirolli⁵ afirman que el diseño es esencialmente un problema cognitivo. La actividad de diseño involucra la formulación mental del estado futuro del objeto. Los productos de la actividad de diseño son representaciones externas de tal futuro posible. El diseño creativo es también uno de los futuros re-

conocibles que distinguen a los seres humanos modernos de otros fabricantes inteligentes de dispositivos (Mellars, 1989, White, 1989); el diseño es, por consiguiente, fundamentalmente mental, representacional y una señal de la inteligencia humana; aspectos que seguramente harán de él un elemento importante de estudio de la ciencia cognitiva.

Los problemas débilmente estructurados que tienen objetivos, estados y operadores mal definidos han recibido una atención creciente en los investigadores del diseño. Tales investigaciones incluyen estudios del diseño de *software*, ingeniería mecánica, química y políticas administrativas. En suma, el estudio de la solución de problemas en dominios semánticamente ricos, que involucran el uso de modelos mentales como la física, han tenido también un incremento en la década pasada. El diseño en ingeniería está débilmente estructurado, en el sentido de que los aspectos involucrados sobreespecifican los objetivos y los operadores. La clase de conocimiento que puede estar incorporada en la solución de un diseño es prácticamente ilimitada, debido a que el diseño consiste en forma inherente en la formulación de un modelo de estados posibles de las cosas en el mundo, y de manera intrínseca involucra modelos mentales y conjuntos de significados y operadores semánticamente ricos.

Los componentes del diseño

Un gran número de investigadores han observado que el diseño tiene dos componentes: un elemento lógico y un elemento creativo, ambos son necesarios pero requieren habilidades muy diferentes. La idea fundamental de la metodología básica de diseño consistió durante mucho en desarrollar métodos sistemáticos externos y herramientas para desarrollar mejor el análisis lógico, sin hacer que el diseñador se ocupara de los aspectos creativos de la solución del problema.

Goel & Pirolli (1992) piensan que a) la actividad de diseño no puede caracterizarse como una disciplina específica; b) el diseño no es una actividad ambigua. Esto no implica negar el concepto genérico de diseño como una actividad que tiene vida propia e independiente de los objetos o disciplinas específicas que involucre.

El énfasis principal del presente trabajo consiste en escudriñar el diseño en la dimensión lógica.

⁴ Práctica: combinación particular de factores de producción, incluido el conocimiento, utilizados para un propósito específico; Técnica: conjunto de prácticas que permiten cierto grado de sustitución de factores; y tecnología: conjunto de todas las

técnicas conocidas aplicables a un servicio, proceso o sistema.

⁵ V. Goel, . & P. Pirolli, "The Structure of Design Problem Spaces", En *Cognitive Science*, V6, No. 3, 395-492.

El espacio del problema de diseño

En la actividad de solución de problemas débilmente estructurados debe establecerse una diferenciación entre la estructuración del problema y la solución y aunque las dos actividades pueden ir avanzando sistemáticamente por partes, en función del conocimiento y experiencia del diseñador, es necesario establecer las características de cada una de ellas.

Estructuración del problema es el proceso de diagramación sobre nuestro conocimiento para compen-sar la información que falta y el uso de ese conocimiento para construir el espacio del problema (Simon). Los problemas de diseño están especificados de forma incompleta pero la especificación del espacio de un problema necesita información completa sobre los estados iniciales, los propósitos finales, los operadores y las funciones de evaluación.

La estructuración de un problema es un concepto ampliamente reconocido, pero no siempre es claro cómo se diferencia de la solución del problema; a continuación se establecen algunas diferencias:

En las fases de estructuración del problema se piensa más sobre las personas, los propósitos del artefacto, y los recursos; mientras que en las fases de solución (diseño preliminar, refinamiento, diseño detallado) predominan los pensamientos relacionados con la estructura y la función del artefacto.

Durante la fase de estructuración son importantes las expectativas del cliente y los conceptos generales de diseño, lo cual no sucede de la misma manera en las fases de solución.

El grado de compromiso del diseñador, expresado en las manifestaciones escritas sobre su problema, se hace más intenso en la fase de solución que en la de estructuración.

En la fase de estructuración predominan los operadores de proposición y adición, los operadores de adición y de proposición van disminuyendo a medida que se avanza en la solución del diseño.

Con el fin de estudiar el diseño genérico es necesario desarrollar criterios para demarcar y reconocer los problemas de diseño, y se necesita alguna comprensión de sus características comunes.

Un ambiente de la tarea es el ambiente externo a ella, incluido el problema en el cual opera el sistema de procesamiento de información. Un espacio problema se define en términos de estados de solución del problema, de operadores que mueven la solución del problema desde un estado al otro y funciones de evaluación.

La estructura del sistema de procesamiento de la información

En la teoría clásica de solución de problemas humanos de Newell y Simon (1972), un sistema cognitivo es un mecanismo simple, relativamente no condicionado, y es básicamente un sistema de manipulación del símbolo físico con almacenamiento en la memoria (corto plazo, largo plazo y externa), un procesador, receptores sensoriales y efectos motores. Hay, por supuesto, muchos mecanismos más sofisticados que se presentan en la literatura.

La estructura del ambiente de tarea

El ambiente de tarea consta de a) un objetivo; b) un problema; c) otros factores externos relevantes Newell & Simon (1972). En muchos estudios de solución de problemas se ha hecho énfasis en la estructura y el contenido de un problema particular tomando como proyecto el espacio del problema; en contraste, la explicación del ambiente del problema de diseño involucra una mirada a través del problema individual especificando la relevancia de los factores externos a todos los problemas de diseño.

Se han identificado los siguientes aspectos comunes de las tareas de diseño.

- a) Distribución de información: como lo notó inicialmente Reitman (1964), hay una carencia de información en cada uno de los tres componentes del problema de diseño. El estado inicial está completamente especificado, el objetivo final (la meta) está especificada aunque en menor extensión; y la función de transformación, entre los estados iniciales y las metas, está completamente sin especificar.
- b) Naturaleza de las limitaciones. Las limitaciones en la tarea del diseño son generalmente de dos tipos: a) nomológicas⁶ y b) sociales, políticas, legales, económicas y similares. Las últimas consisten en reglas y convenciones que son siempre negociables. Las primeras consisten en leyes naturales y nunca son negociables. Sin embargo, las restricciones de las leyes naturales determinan enormemente las soluciones de diseño. Las restricciones del diseño son rara vez y probablemente nunca, lógicas; (por ejemplo, algunas no son parte constitutiva de la tarea).
- c) Tamaño y complejidad de los problemas. Los problemas de diseño son generalmente largos y complejos, con escalas de duración de días, meses y hasta años.

⁶ Derivadas de las leyes y de los principios de cualquier ciencia y su interpretación.

- d) Las partes que lo componen. Siendo grandes y complejos, los problemas de diseño tienen muchas partes. Pero hay poco en la estructura de los problemas de diseño que determine las líneas de la descomposición. La descomposición se genera sustancialmente a partir de la práctica y la experiencia del diseñador.
- e) Partes interconectoras. Los componentes de un problema de diseño no están lógicamente interconectados. Sin embargo, existen muchas interconexiones contingentes entre ellos.
- f) Respuestas correctas y erradas. Los problemas de diseño no tienen respuestas correctas e incorrectas, solamente unas mejores que otras. (Rittel y Webber, 1973).
- g) Entradas/salidas. Las entradas del problema de diseño consisten en la información acerca de las personas que podrían usar ese artefacto, las metas que ellos quieren satisfacer y los desarrollos que creen se deben seguir para alcanzar la meta con satisfacción. Las salidas son las especificaciones del artefacto. La información funcional media de muchas maneras entre la información de entrada y la de salida.
- h) Lazo de retroalimentación. Durante la solución de un problema no se tiene un lazo retroalimentado legítimo, éste debe generarse o simularse por el diseñador durante la sesión de solución del problema. La retroalimentación desde el mundo viene solamente después de que el diseño se ha completado y el artefacto ha sido construido y puesto en funcionamiento en el ambiente. Por supuesto, en este punto, la retroalimentación no influye en el proyecto en curso, solamente en los próximos proyectos similares.
- i) Precio de los errores. Existen costos asociados con todas y cada una de las acciones en el mundo, y el castigo por cometer errores puede ser alto. (Rittel y Webber, 1973).
- j) Funcionamiento independiente del artefacto. El artefacto necesita funcionar independientemente del diseñador.
- k) Distinción entre especificación y producción. Debe distinguirse entre las especificaciones del artefacto y la construcción del mismo.
- l) Separación temporal entre especificación y construcción. Existe una separación temporal entre las especificaciones y la construcción del artefacto. La especificación precede la construcción.
- lli, 1992) al examinar la estructura del espacio del problema de diseño. Cada uno puede ser explicado o justificado por una denominación de las estructuras del sistema de procesamiento de información y diseño de tareas, como se explicó.
- a. Estructuración del problema. La escasez de información en los estados iniciales, de los objetivos finales y de las funciones de transformación, necesitará una amplia estructuración del problema antes de comenzar a solucionarlo.
- b. Distintas fases de solución del problema. La solución de problemas de diseño puede ser posteriormente subcategorizada en tres fases distintas e interesantes: diseño preliminar, refinamiento y diseño detallado. Esto se debe al tamaño y complejidad de los problemas y a los muchos y diferentes tipos de información y a los niveles de detalle que es necesario considerar.
- c. Inversión de dirección de la función de transformación. Debido a que la estructura de las tareas no ha sido bien especificada en el momento y las limitaciones son no lógicas, el diseñador tiene la oportunidad de invertir la dirección de las funciones de transformación, convirtiendo el problema en uno que pueda resolver inmediatamente, o en un problema cuya solución sea, de alguna forma, más efectiva y deseable.
- d. Modularización/capacidad de ser descompuesto en partes. Dado el tamaño y la complejidad de los problemas de diseño y la limitada capacidad de la memoria de corto plazo, podría hacerse una descomposición del problema en un gran número de módulos. Sin embargo, debido al hecho de que las conexiones entre módulos son pocas o no son lógicas, aunque solamente algunas son contingentes, podría esperarse que el diseñador atienda algunas de éstas e ignore las otras.
- e. Desarrollo incremental del artefacto. Las ideas del diseño intermedio son nutridas y desarrolladas incrementalmente hasta que son apropiadas para las tareas. Raramente son descartadas o reemplazadas por nuevas ideas. La principal razón de este comportamiento podría ser el tamaño y la complejidad de los problemas y la naturaleza secuencial del sistema de procesamiento de la información y el hecho de que ellas no son respuestas correctas o incorrectas.
- f. Estrategia de control. Los diseñadores usan una estrategia de control de la forma de compromiso limitado que facilita la generación y evaluación de los componentes del diseño, en múltiples contextos.
- g. Hechura y propagación de compromisos. Ya que los planes de diseño y las especificaciones tie-

La estructura del espacio del problema de diseño

La siguiente es una lista de una docena de aspectos invariables, que se encontraron (Goel & Piro-

nen que ser producidas en un tiempo finito y deben ser interpretados por una tercera persona, los diseñadores tienen que establecer, recordar y propagar los compromisos.

- h. Reglas personalizadas para detenerse y funciones de evaluación. Por el hecho de no existir respuestas correctas e incorrectas y por la escasa retroalimentación, las funciones de evaluación y las reglas para detenerse deben ser personalizadas (por ejemplo, derivadas de la experiencia personal y del grado de inmersión en la profesión).
- i. Predominio de la memoria recuperada e inferencias no demostrativas. Debido a las pocas limitaciones lógicas de los problemas de diseño, la inferencia deductiva desempeña un papel mínimo en los procesos de solución de problemas. Muchas decisiones son resultado de la memoria recuperada y no de la inferencia deductiva.
- j. Construcción y manipulación de modelos. Debido a que los diseños ocurren típicamente en situaciones en las que no es posible o es muy costoso manipular el mundo en forma directa, los diseñadores manipulan generalmente representaciones del mundo. (Nosotros sólo tenemos una forma del mundo, mientras que podemos tener tantos modelos del mundo como queramos). Esta es una ventaja evidente del *software* de simulación.
- k. Abstracción de jerarquías. Las diferencias cualitativas entre la información de salida y de entrada y las diversas fases diferenciables en la solución de problemas, producen abstracciones ortogonales jerárquicas.
- l. Uso de sistemas simbólicos artificiales. Dado el tamaño y la complejidad de los problemas, la necesidad de construir y manipular modelos externos y el uso de abstracciones jerárquicas, los diseñadores harán uso extensivo de sistemas simbólicos artificiales.

Distinción entre las fases de solución del problema

Se ha subcategorizado la solución del problema en tres fases, diseño preliminar, refinamiento y diseño detallado. La preocupación por personas, objetos y recursos va disminuyendo paulatinamente a medida que se avanza en esas fases y, a cambio, se incrementa la preocupación por aspectos estructurales de la solución.

En la etapa de diseño preliminar existe aún una influencia del cliente y de los conceptos generales de diseño, pero ésta va desapareciendo a medida que se avanza en el diseño detallado.

El compromiso del diseñador va avanzando a medida que se profundiza en el diseño detallado, lo cual se manifiesta tanto por las frases escritas involucradas en sus bitácoras como por los detalles de los diagramas que se elaboran.

Cambio en la dirección de la función de transformación

Los diseñadores naturalmente interpretan la situación del problema a través de la experiencia y sesgo personal. Pero además de esto, ocasionalmente paran y tratan de cambiar explícitamente la situación del problema de tal forma que se acerque adecuadamente a su pericia, conocimiento y experiencia.

Esto involucra la manipulación de las limitaciones del problema y las expectativas del cliente. Llamamos a este hecho un cambio en la dirección de la función de transformación, porque mientras se va avanzando desde el estado inicial hacia la meta el diseñador puede negociar cambios del estado inicial y de la meta de acuerdo con la experiencia de modo que sea más fácil de alcanzar o quizá permita llegar a una solución de diseño más efectiva.

Descomposición de la solución en módulos imperfectos

Numerosos investigadores han notado el importante papel desempeñado por la descomposición en problemas complejos (Alexander, 1964; Simon, 1977). Sin embargo, hay un considerable desacuerdo con la estructura de descomposición de problemas de diseño.

La descomposición de un diseño en unidades lo más independiente que sea posible, aminora las dificultades mostradas por una capacidad limitada del procesador de información que trata con un problema de diseño típicamente largo y complejo. También hay un hecho relacionado con el mundo de los objetos y procesos artificiales que están compuestos por entidades que, de hecho, están relacionadas unas con otras en forma compleja. De algún modo los procesos de diseño tienen que descomponer un diseño para reducir las cargas de atención, aun permaneciendo latente la posibilidad de que haya interconexiones importantes entre módulos descompuestos.

En Goel & Pirolli (1989) se indicó notado que los diseñadores descompusieron la solución del diseño en «módulos imperfectos» por ejemplo módulos conectados dispersamente, y se tienen dos estrategias principales para tratar esas interconexiones: a) ellos bloquean cualquiera de las imperfecciones por la suposición de niveles funcionales de los módulos interconectados; o b) infieren desarrollos posteriores de la corriente del módulo con el fin de atender a un módulo interconectado, lo que también fuerza la interconectividad parcial (opuesto a la conexión total o desconexión total).

Desarrollo incremental del artefacto

Cuando se generaron las ideas intermedias de diseño o cuando las soluciones son retenidas, se contemplan y desarrollan incrementalmente hasta que alcanzan su forma final. Muy difícilmente las ideas o las soluciones son olvidadas y descartadas.

Hay un número de factores en el ambiente de diseño que parecería estar a favor de una estrategia de desarrollo incremental. Primero, los problemas son largos y dada la secuencia natural de procesamiento de información, no puede completarse en un acto sencillo de procesamiento. Segundo, ya que hay pocas restricciones lógicas sobre los problema de diseño y no hay respuestas correctas e incorrectas, hay poca base para dar soluciones parciales y pasar por encima de la experiencia. Esto hace más atractivo continuar el desarrollo que ya existe. Tercero, el desarrollo incremental es compatible con la generación y evaluación de los componentes del diseño en múltiples contextos.

Muchos de los caminos seguidos por los diseñadores son abandonados, la mayoría de la información asociada con el camino es también abandonada cuando quien resuelve el problema retorna al estado previo del conocimiento y comienza un nuevo camino de solución.

La acumulación de conocimiento relevante a la solución no es simplemente un proceso incremental cuando quien resuelve el problema pasa de un camino a otro.

Estrategia de control

Hay un buen número de espacios que requieren estrategias de control del espacio del problema de diseño. Entre ellos están estos tres:

1. ¿Los módulos de solución se desarrollan en forma aislada uno del otro, o están interconectados a través de las soluciones?
2. ¿La información se procesa secuencialmente o en paralelo?
3. ¿Las soluciones se desarrollan incrementalmente o aparecen completamente formadas?

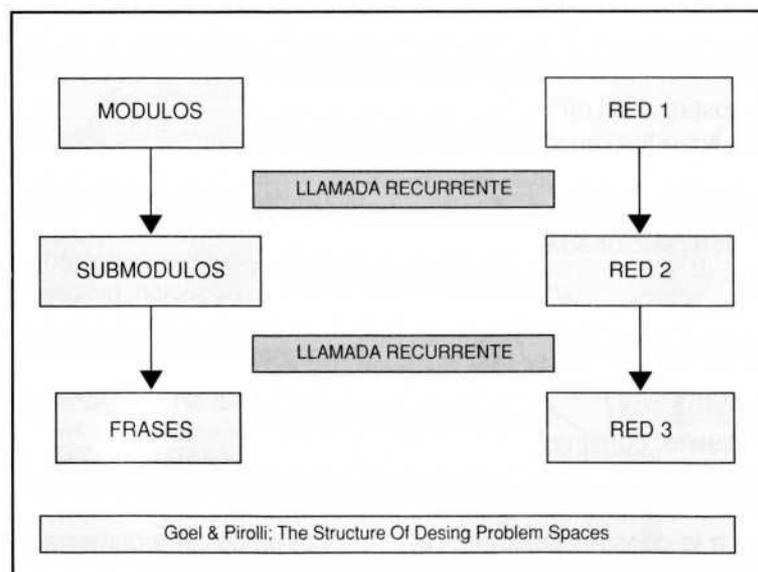
Como se mencionó antes, a) los módulos de solución están interconectados de algún modo; b) el proceso cognitivo se supone secuencial; c) las soluciones se desarrollan incrementalmente. Es necesaria, por tanto, una estrategia de control que se acomode y soporte cada uno de estos hechos.

Las investigaciones de Goel & Pirolli indican que los diseñadores usan una estrategia de control del tipo de compromiso limitado (LCM). Esta categoría se relaciona estrechamente con la estrategia de control de Stefic, 1980, estrategia de control de «mínimo compromiso». La característica básica de la estrategia LCM es que cuando se trabaja en un módulo particular no se necesita que el diseñador complete el módulo antes de seguir con otro. Por eso se tiene la opción de poner cualquier módulo en espera después.

Siempre se tiene la opción de modificar las soluciones parciales de diseño en un punto posterior; lo cual da al diseñador la ventaja de disponer de múltiples contextos en la solución del problema y la generación y evaluación de elementos de diseño.

La estructura de control es evaluada dentro de tres niveles jerárquicos:

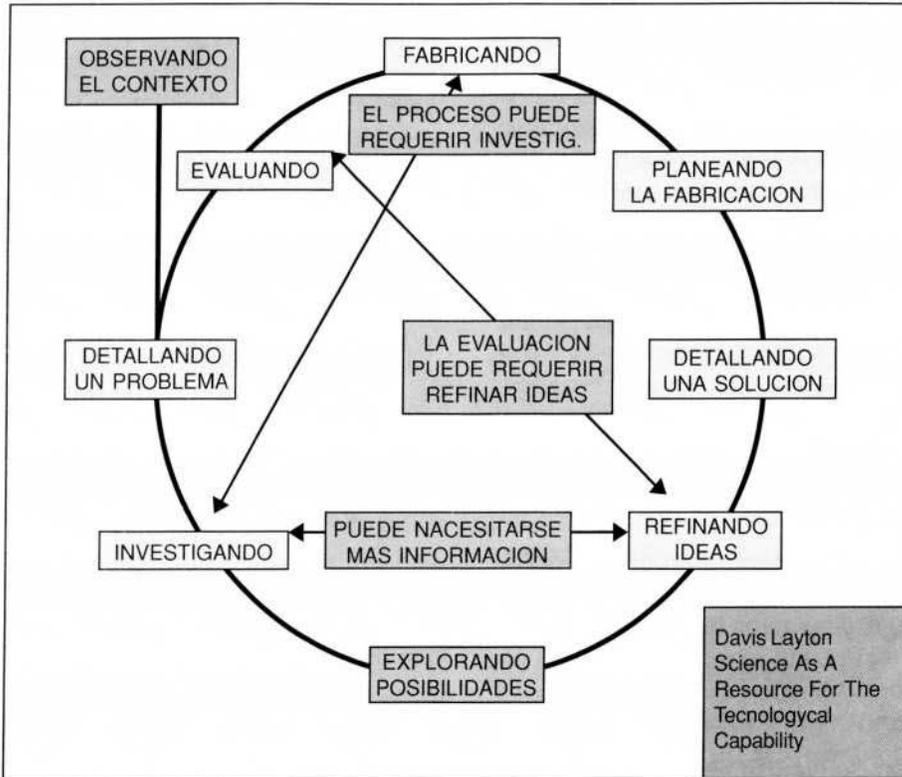
Los primeros dos niveles son específicos a las tareas; el tercero es general a través de las tareas.



El ciclo de diseño

En la siguiente gráfica aparece descrito el ciclo general de un proceso de diseño desde el análisis

del entorno percibiendo una necesidad hasta el proceso de fabricación de la cosa diseñada.



Segunda parte: análisis de las experiencias realizadas

Dado el componente experimental del trabajo de investigación que se desea resumir en este artículo, se presenta a continuación un análisis de las experiencias realizadas, que fueron descritas en la introducción, empleando diversas estrategias de análisis.

Existen diferencias substanciales en la calidad de los resultados obtenidos entre los grupos que solucionaron el problema de diseño conceptual simplemente y los que diseñaron, construyeron y operaron; estas diferencias están relacionadas en aspectos como los siguientes:

La motivación por el aprendizaje se incrementa cuando existe el reto de construir y hacer operar el dispositivo diseñado.

En los procesos de diseño, construcción y operación aparecen innumerables preguntas que deben ser respondidas apelando a la experimentación, a la consulta con expertos y a la consulta bibliográfica; preguntas que no aparecen o que no son significati-

vas cuando simplemente se está dimensionando una solución teórica o se está simulando.

Este proceso de construcción y operación genera competencias que no se pueden lograr en la solución de problemas de dimensionamiento o en los procesos de simulación, competencias que tienen que ver con el dominio de ámbitos relacionados con los materiales, racionamiento abstracto, perspectiva, conciencia sobre la magnitud de ciertos conceptos como velocidad, presión, potencia, habilidades de planeación, etc.

Los problemas de diseño, construcción y operación ponen en ejecución, aunque no con toda la racionalidad necesaria, el ciclo de la hipótesis: surgen la fantasía, los juicios, la suposición, los modelos, las analogías, la representación, la anticipación, el experimento, la negación; proceso que aunque poco tiene que ver con la búsqueda de la verdad o de la teoría fidedigna, se aleja mucho del simple ensayo y error.

La puesta en ejecución del ciclo de la hipótesis no se manifiesta con la misma intensidad en aquellos problemas que sólo fueron solucionados como dimensionamiento teórico.

Los niveles de argumentación de los novatos, tanto en los grupos que dimensionaron simplemente como

en los que construyeron, fue demasiado pobre en comparación con la frecuencia, intensidad y profundi-

dad de la argumentación que se observa en el proceso de desarrollo del diseño que el experto siguió.

Tabla No. 1 Naturaleza de las frases enunciadas por el experto

CONTENIDO DE LAS FRASES	SÍMBOLO	No. FRASES	% FRASES
Estructuración del problema	EP	91	16,66
Ambiente	AM	19	3,47
Personas (usuario)	PE	5	0,91
Propósito	PR	19	3,47
Estructura de la solución	ES	113	20,69
Función	FU	9	1,64
Modelos	MO	12	2,19
Soportar	SO	22	4,02
Argumentación (justificar)	AR	107	19,59
Costos	CO	16	2,91
Optimización	OP	21	3,84
Metodología	ME	97	17,76
Conversación con entrevistador	O	15	2,74
TOTAL		546	100,00

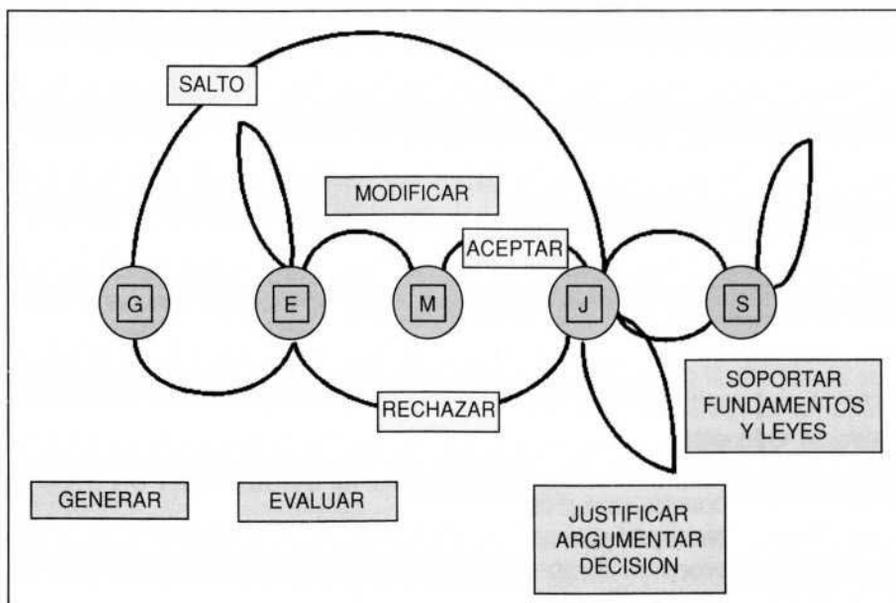
Como puede verse en la Tabla N° 1 derivada del análisis de protocolos, el mayor porcentaje de frases tiene que ver con la estructuración del problema (16,66), la estructura de la solución (20,69), la argumentación de las decisiones tomadas (19,59) y la metodología (17,76). Estas frases representan 74,7% del total de frases.

Gran porcentaje de frases relacionadas con metodología (17,76 %) puede estar determinado por el hecho de que el experto se desempeña como docente. Esto confirma lo planteado por Goel & Pirolli en el sentido de que existen reglas personalizadas que tipifican los momentos en los cuales el diseñador

se detiene para evaluar su diseño y retroalimentarlo, derivadas de su experiencia personal y del grado de inmersión en la profesión.

Los grupos que solamente dimensionaron, apelaron más a modelos presentados en la bibliografía que a su propia conceptualización.

En las siguientes gráficas aparece la estructura de la solución seguida por el experto y la estructura de la solución seguida por un grupo de novatos; obsérvese que los novatos argumentan basados en la bibliografía y recurren a expertos para soportar ciertos aspectos de la solución.



La gráfica ilustra la estrategia seguida por el experto. El salto que aparece entre justificar y generar implica que el experto pasa de una parte a otra, y no necesariamente significa que haya tomado una opción definitiva sobre la parte que abandona, dado que como se deduce del análisis del protocolo, la solución va siendo alcanzada por aproximaciones sucesivas y el proceso de optimización de la solución definitiva considera el sistema en conjunto.

El otro camino que va desde generar hasta soportar es el ciclo que se repite para cada una de las partes que está diseñando y en el cual es necesario resaltar el gran peso que da el experto a las frases correspondientes a justificar, aspecto que en general, como se verá, es subestimado por los novatos.

Los lazos que salen y vuelven sobre la misma acción y que se muestran para el caso de la evaluación, la justificación y el soporte significan que se están haciendo comparaciones entre opciones del diseño o entre modelos traídos de la memoria de largo plazo.

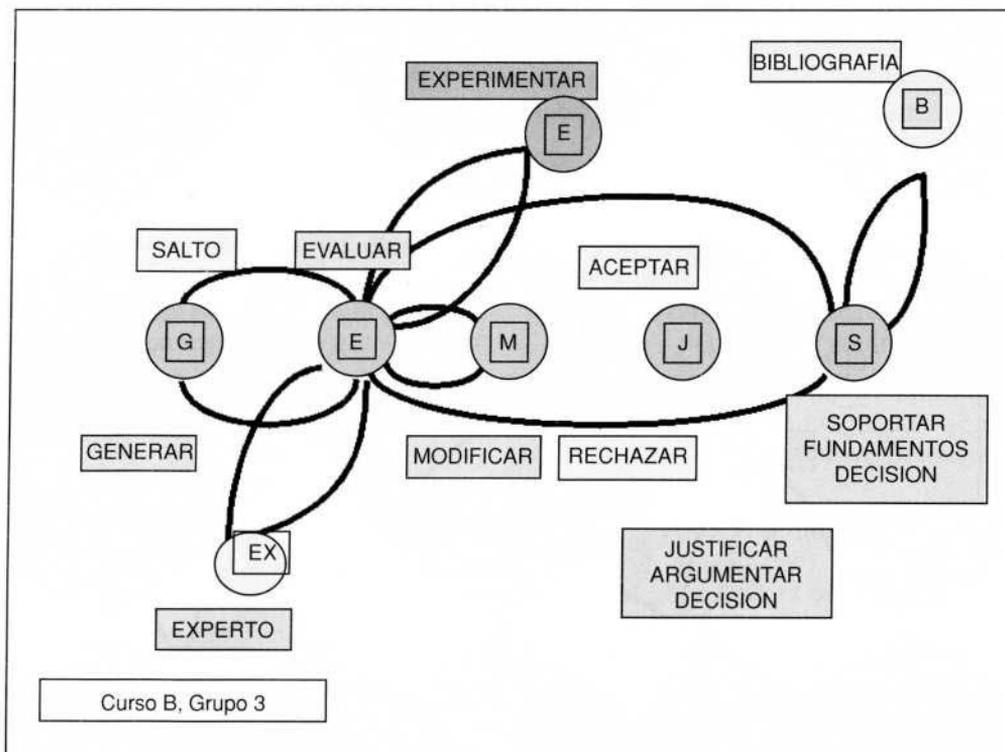
Todos los grupos a los cuales se les planteó el problema de diseño-construcción-operación lograron el reto planteado. Obviamente la calidad de la

solución fue diferenciada en aspectos como la solidez de la estructura, los métodos de separación, la forma de la alimentación, los materiales transportados y, en consecuencia, los costos.

Se observa una incapacidad en los novatos para conceptualizar el problema desde el punto de vista de las variables involucradas en el proceso y mucho más acentuada cuando se trata de diferenciar entre el concepto de variable y el de grado de libertad.

Existe poca capacidad en los estudiantes para conceptualizar el proceso planteado como sistema susceptible de ser controlado.

Existe poca capacidad en los estudiantes para involucrar en la solución de su problema el análisis de costos, y el uso de los costos como criterio para seleccionar alternativas e involucrar este criterio como fundamental para la escogencia de un concepto de diseño. Se observan diferencias entre los que dimensionaron solamente y los que los construyeron; en el sentido de que los que construyeron, hicieron más consciente el asunto de los costos más como una ponderación de la inversión realizada que como criterio de selección de la solución optimizada.



Lo que se deduce de todo esto es que para administrar estos ambientes con problemas débilmente estructurados se requieren docentes con grandes habilidades de diseño y administración. ¿Estamos dispuestos a asumir estos nuevos procesos de aprendizaje para ponernos a tono con las nuevas exigencias?

Recomendaciones para la educación en ingeniería

Siempre que se tiene la oportunidad de dialogar con profesores de otros países nos sentimos motivados a preguntarles acerca de cómo desarrollan sus

actividades en el aula, pero lamentablemente nuestras preocupaciones sólo se relacionan con saber si siguen usando tiza y tablero o multimedia y redes pero poco indagamos acerca de los ambientes diseñados y mucho menos sobre la calidad de los problemas planteados. Este estudio pone en evidencia las profundas implicaciones que tienen en los procesos de aprendizaje los problemas débilmente estructurados.

Aunque la generalización del uso de la informática en todas las actividades de la vida cotidiana plantea a los profesores, diseñadores, como se decía, de los ambientes de aprendizaje, nuevos retos para concebir procesos interesantes, interactivos y rápidamente adaptables en la educación, lo más importante a tener en cuenta es el propósito de la formación y el logro de las competencias deseadas. No podemos, por tanto, confundir los objetivos con las estrategias.

Se evidencia en un trabajo como éste, que existe una gran responsabilidad de los docentes en el diseño de los ambientes adecuados; dado que un ambiente puede conducir a un resultado completamente distinto a otro, y la falta de conciencia sobre esto, se puede llegar a objetivos no deseados.

Para que la educación en ingeniería brinde los resultados esperados deben emprenderse acciones correctivas en los siguientes sentidos:

- ◆ Manejar epistemológicamente las preguntas clave del proceso de formación como son: el qué, el cómo, el por qué, el para qué, el quién, el para quién y el cuánto.
- ◆ Diseñar los contenidos y las metodologías con el nivel y el enfoque apropiados para los propósitos que estén contemplados en el currículo, ajustando a la vez el nivel de abstracción.
- ◆ Reacomodar los conocimientos haciendo que ciencia y pedagogía se integren de manera efectiva en contenidos y prácticas adecuadas a las necesidades del contexto y del momento.
- ◆ Desarrollar las habilidades necesarias para pensar y concebir los problemas del mundo real en su verdadera complejidad evitando que la abstracción, que es necesaria en los esfuerzos de generalización, sea un obstáculo para el diseño detallado y el desarrollo de sistemas que estén operando.

Una forma de contribuir a esto es desarrollar las habilidades de pensamiento paralelo, el uso de software de análisis estadístico o de procesamiento matemático, la habilidad para trabajar espacios de muchos estados y el desarrollo de innumerables experiencias para que los estudiantes puedan hacer mejores inferencias y apelar a analogías. Debe tenerse cuidado, sin embargo, de reforzar la parte concep-

tual y de creación de significados, dado que los alumnos tienden a operar mecánicamente los sistemas de solución perdiendo capacidad de análisis y de relación con los principios físicos que operan en el mundo.

Deben hacerse considerables esfuerzos para que la educación en ingeniería no se reduzca al dimensionamiento de equipos o a la definición de los niveles óptimos de las variables, sino que los estudiantes desarrollen competencias específicas para seleccionar los sistemas y los equipos de medida, para que especifiquen al detalle las soluciones y para que desarrollen competencias de constructores, lo cual implica un mejor dominio de los materiales y de los métodos de construcción.

Se deben conceptualizar los problemas planteados a los estudiantes desde el punto de vista de las variables involucradas en los procesos, diferenciando los conceptos de variable dependiente y variable independiente del grado de libertad.

Se demostró que la motivación por el aprendizaje se incrementa cuando existe el reto de construir y hacer operar los dispositivos diseñados.

De hecho, muchas cosas han de cambiar si se desea ser incisivos en los procesos de formación de los jóvenes sin perder de vista, claro está, que nuestra tarea va más allá de desarrollar competencias relacionadas con la tecnología y que esos compromisos tocan además aspectos íntimos del desarrollo individual como son la ideología y la cultura, la capacidad de comunicación e incluso el desarrollo de valores como la tolerancia y la aceptación del disencimiento.

Serán bienvenidas entonces todas aquellas ideas que ayuden a mejorar todo el proceso. Un país siempre centra sus grandes esperanzas en las generaciones futuras, pero la escuela tiene la gran responsabilidad de establecer los eslabones de continuidad en su permanente actuar en la vida cotidiana.

Lo que logren los hijos de los niños de hoy estará determinado por lo que hagamos hoy con ellos y por ellos.

Aspectos por desarrollar

De hecho, un trabajo de la naturaleza del que se ha presentado tiene valor solamente si propone nuevas preguntas para posterior investigación.

Las grandes preguntas que quedan por resolver tienen que ver con la diferencia sustancial entre información y conocimiento. En primer lugar, establecer con profunda claridad esta diferencia es clave para un país en el cual la mayoría de los procesos de cambio técnico en la industria se derivan de la compra de tecnología importada y las capacidades de operar, mejorar incrementalmente o radicalmente tales tecnologías es demasiado precaria.

En segundo lugar, es un gran reto para la educación desarrollar el pensamiento abstracto en los estudiantes, la capacidad de concebir situaciones de la vida real en lenguaje matemático, modelar y simular.

En tercer lugar, es necesario ampliar las investigaciones sobre hasta dónde las organizaciones aprenden y en dónde establecer el límite entre el aprendizaje individual y el aprendizaje colectivo.

En cuarto lugar, es claro que no se le puede asignar a la educación todas las responsabilidades para crear en la población competencias relacionadas con la tecnología dado que muchas de esas competencias deben ser realmente desarrolladas en la producción y que debe existir un ambiente nacional y local que la propicien; ¿Cómo mejorar el ambiente social para la innovación?

Esos ambientes internacionales, nacionales y locales tienen que ver con el clima intelectual, el clima tecnológico y la presión comercial o política por el cambio⁷.

Debemos contribuir, por tanto, al diseño y puesta en marcha de lo que se ha venido llamando recientemente el Sistema Nacional y Regional de Innovación.

En este Sistema Nacional de Innovación deberán articularse la industria, la universidad y en general, todo el sistema educativo, los centros de investigación y desarrollo sectoriales, las incubadoras de empresas y el sistema nacional de financiación.

En quinto lugar, si por mucho tiempo, tal vez por siempre, el maestro seguirá siendo el diseñador y administrador de los procesos educativos, ¿cómo hacer para que la calidad de los educadores aumente y para que recuperen su sentido de responsabilidad sobre la conducción de los procesos cognitivos en los estudiantes y la construcción consciente de una cultura colectiva?

Finalmente, debe entenderse mejor cómo opera y cómo podría ser cultivada la parte creativa del diseño.

Conclusiones

Existen diferencias substanciales en la calidad de los resultados cognitivos obtenidos entre los individuos que solucionaron el problema de diseño hasta especificación y los que diseñaron, construyeron y operaron; también se observan diferencias a medida que aumenta el grado de debilidad del problema: la motivación por el aprendizaje, el surgimiento de conjeturas, suposiciones e hipótesis, lo significativo del aprendizaje alcanzado, los niveles de argumentación, las relaciones estudiante/profesor, etc. Todos estos aspectos llaman la atención sobre la dependencia de la calidad del aprendizaje con relación a los ambientes diseñados y la calidad de los docentes que los diseñan y abre nuevas posibilidades para la educación en tecnología y en particular para la formación de los ingenieros.

BIBLIOGRAFÍA

Amaya, P. y Garzón, C., "Apertura e ingeniería", *Acofi*, Santafé de Bogotá, diciembre de 1995.

Ausubel, D. P., Novak, J. D., y Hanesian, H., *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*, Trillas, 2 ed, México, 1983.

Andrade, E., *Aproximaciones a una pedagogía del diseño*, Primer Seminario de Innovación y Competitividad, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, mayo de 1995.

Bogoya, D. "Naturaleza de la Simulación". En: *Ingeniería e investigación*, Vol 9, No. 1, Universidad Nacional, mayo de 1996.

Conde, A. La ingeniería de procesos químicos: una visión alternativa de ingeniería química. En: *Ingeniería e investigación*, Vol 9, No. 1, Universidad Nacional, mayo de 1996.

Clavijo S., Crecimiento económico y productividad en Colombia: una perspectiva de largo plazo (1957-1994). En: *Archivos de macroeconomía*, DNP, Documento 30, Junio de 1994.

Goel, V., & Pirolli, P. "The Structure Of Design Problem Spaces". En: *Cognitive Science*, No. 16, Berkeley, 1992. pp 395-492.

Kopnin, P. *Lógica dialéctica*, Grijalvo, S.A., México, D.F., 1966.

Garzón, C., Conocimiento como diseño, Universidad Pedagógica Nacional, Departamento de Tecnología, tesis de maestría en pedagogía de la tecnología, Santafé de Bogotá, mayo de 1997.

Layton, D., *Technology's Challenge To Science Education*, Open University Press, Buckingham, UK, 1993.

Maldonado, F., *Análisis de protocolos: posibilidad metodológica para el estudio de procesos cognitivos en personas con discapacidad*, Universidad Pedagógica Nacional, COLCIENCIAS, CYTED, Santafé de Bogotá, 1994.

Novak, J. D., y Gowin, D. B., *Aprendiendo a aprender*, Martínez Roca, Barcelona, 1988.

Perez Calderón, José Urías. *Educación, tecnología y desarrollo*. Panamericana, Bogotá, 1989.

Perkins, D.N. *Knowledge as design*. New Jersey, U.S.A. 1986.

Roberts, Phill. *El lugar del diseño en educación tecnológica*, Innovations in Science and Technology Education, UNESCO Publishing, France, 1994.

Robledo J., "Estrategia tecnológica empresarial: una aproximación desde la perspectiva del aprendizaje tecnológico para los países latinoamericanos". ALTEC, V Seminario Latinoamericano de Gestión Tecnológica, Septiembre de 1993, pp. 40-52.

⁷ N. Wiener, *Inventar, sobre la gestación y el cultivo de las ideas*. Serie Metatemáticas, Tusquets, 1995.