

Uso de mapas conceptuales dentro el proceso de diseño del producto en ingeniería: un estudio de caso

*Barbara I. Daley, Michael R. Lovell, Ronald A. Pérez y
Nathaniel E. Stern*

CONTENIDO

Introducción	229
Mapas conceptuales e ingeniería: ¿Qué sabemos?	231
Mapas conceptuales para la innovación	231
Mapas conceptuales para la instrucción	232
Mapas conceptuales para la evaluación	233
Mapas conceptuales para el diseño curricular	235
El caso	236
Desarrollo de un dispositivo de propiedad en masa	237
Desarrollo de una Válvula de Cierre Remoto	240
Comparación de los procesos de desarrollo de productos utilizados por ambos	
Equipos	244
Respuestas de los estudiantes	245
Respuestas comerciales	247
Implicaciones del uso de mapas conceptuales en el desarrollo de productos	247
Referencias	249

INTRODUCCIÓN

La ingeniería en los Estados Unidos ha cambiado drásticamente en los últimos 20 años, lo que ha generado importantes desafíos que enfrentan tanto la educación como la práctica de la ingeniería. Por ejemplo, las tasas de graduación universitaria en los Estados Unidos aumentaron un 26 por ciento entre 1985 y 2004,

mientras que las tasas de graduación de ingenieros disminuyeron un 23 por ciento durante el mismo período. Además, durante los declives económicos de 2001–2003 y 2008–2009, los primeros recortes de empleo realizados por muchas empresas incluyeron puestos de ingeniería, sobre todo en los departamentos de investigación y desarrollo (Douglas, Iversen y Kalyandurg, 2004).

Según el National Science Board (NSB, 2007), la educación en ingeniería enfrenta tres desafíos esenciales: (1) ser capaz de responder al cambiante contexto global de la ingeniería, (2) cambiar la percepción de la ingeniería para atraer a personas de diversos orígenes, y (3) retener a aquellos estudiantes - inicialmente atraídos por el campo de la ingeniería. Particularmente importante es la necesidad de adaptarse al cambiante contexto global. Como dice el NSB:

... el pensamiento de ingeniería debe ser capaz de manejar interrelaciones complejas que incluyen no solo problemas de ingeniería tradicionales, sino que también abarcan factores humanos y ambientales como componentes principales. Además de las habilidades analíticas... las empresas quieren ingenieros con pasión, algo de pensamiento sistémico, capacidad para innovar, capacidad para trabajar en entornos multiculturales, capacidad para comprender el contexto comercial de la ingeniería, habilidades interdisciplinarias, habilidades de comunicación, habilidades de liderazgo. , la capacidad de adaptarse a las condiciones cambiantes y el afán de aprender durante toda la vida (pág. 2).

Como resultado, para que Estados Unidos siga siendo competitivo en el mercado global, la educación y la práctica de la ingeniería deben trabajar juntas para fomentar el desarrollo de la próxima generación de ingenieros. Este tipo de colaboración debe centrarse en desarrollar habilidades de pensamiento en los futuros ingenieros y utilizar estas habilidades de pensamiento para crear nuevos productos a través de la innovación en el diseño y la eficiencia de los procesos. Como indican Florida y Kenny (1990), las empresas estadounidenses deben “actualizar las importantes innovaciones de seguimiento en productos y procesos de fabricación que se necesitan para convertir las nuevas tecnologías en un flujo constante de productos comerciales” (pág. 10).

Debido a los cambios en el tipo de pensamiento que necesitan los ingenieros y la necesidad de seguir siendo competitivos, muchas empresas en los Estados Unidos ahora buscan universidades para ayudar a impulsar la investigación y el desarrollo de la próxima generación de productos. En la Universidad de Wisconsin-Milwaukee (UWM), se ha creado un nuevo tipo de asociación entre las empresas y la universidad para este fin. El objetivo de esta asociación es proporcionar un mecanismo para capacitar a los estudiantes para que sean más innovadores y emprendedores, al mismo tiempo que fomenta el crecimiento económico y

desarrollo de industrias asociadas. La creencia es que si los estudiantes tienen acceso a herramientas de realización de productos de última generación y problemas industriales reales del día a día, pueden aprender a ser más innovadores.

El objetivo de este capítulo es describir cómo los mapas conceptuales (Cmaps) y, específicamente, CmapTools se utilizan como herramientas de realización de productos de última generación. Este estudio de caso demuestra cómo se utilizan los mapas conceptuales para fomentar el aprendizaje significativo, el pensamiento innovador, la innovación en el diseño y la eficiencia de los procesos entre estudiantes de ingeniería, estudiantes de arte y socios comerciales.

MAPAS CONCEPTUALES E INGENIERÍA: ¿QUÉ SABEMOS?

Antes de analizar el uso de los mapas conceptuales en este estudio de caso, revisamos las muchas formas en que se utilizan los mapas conceptuales en la ingeniería y la educación en ingeniería.

Mapas conceptuales para la innovación

Los ingenieros utilizan los mapas conceptuales para fomentar la comunicación dentro de los equipos, desarrollar modelos de conocimiento y sistemas de gestión del conocimiento, crear diseños visuales y promover la innovación. Por ejemplo, McCartor y Simpson (1999) demostraron cómo el grupo de ingeniería de sistemas utilizó los mapas conceptuales en Boeing Corporation para desarrollar y comunicar una nueva visión para la ingeniería a nivel de avión. Además, describieron cómo un equipo usó los mapas conceptuales para desarrollar procesos preferidos para un grupo empresarial eléctrico/electrónico. En estos ejemplos, muestran que los mapas conceptuales ayudaron a los ingenieros a comunicarse entre disciplinas; desarrollar nuevos detalles y rigor al pensar en tareas y relaciones; diseñar una forma visual, compacta y no lineal de presentar conceptos complejos; descubrir conceptos faltantes; iluminar conexiones defectuosas; fomentar debates profundos; y, durante los desacuerdos, centrarse en la tarea en lugar de en los individuos (McCartor y Simpson, 1999).

En un proyecto similar, Salustri , Eng y Weerasinghe (2008) indican que las primeras etapas del proceso de diseño de ingeniería tienden a representarse con documentos de texto. En su lugar, utilizaron mapas conceptuales para visualizar información durante estas primeras etapas, lo que demuestra que esto puede promover

nuevas ideas y conducen a conocimientos más profundos. Afirman, “... a medida que los miembros del equipo se acostumbraban más al software CmapTools, los autores notaron que (a) la convergencia hacia un entendimiento común de las metas y la estructura del proyecto ocurrió muy rápidamente, y (b) las interacciones entre los miembros del equipo aumentaron en frecuencia” (p. 5).

Los mapas conceptuales también se utilizan en los negocios y la industria para crear modelos de conocimiento. Ugwu , Anumba y Thorpe (2004) describen el desarrollo de modelos de conocimiento para la evaluación automatizada de la constructibilidad. Crearon mapas conceptuales para “identificar los roles, el nivel de las posiciones de descomposición de tareas y los procesos/problemas de evaluación de la constructibilidad desde diferentes disciplinas y perspectivas. El estudio muestra que, además de los procesos de revisión del diseño, otros factores, como la selección de rutas de adquisición y la comunicación efectiva de los parámetros de diseño entre las partes interesadas, son esenciales para alcanzar las metas y objetivos de constructibilidad en la ingeniería de infraestructura y la gestión de proyectos” (p. 191).

Moon, Hoffman y Ziebell (2009) también describen el uso de mapas conceptuales y modelos de conocimiento para capturar el conocimiento de los expertos y desarrollar sistemas para estructurar y representar este conocimiento organizacional.

se llevaron a cabo sesiones de elaboración de mapas conceptuales y obtención de conocimientos con un ingeniero senior que se jubila y que se especializa en el motor del cohete Delta. El modelo de conocimiento resultante de 11 Cmaps y otros 140 recursos expresa y organiza a fondo su conocimiento profundo (p. 25).

Luna et al. indicó que tales modelos de conocimiento pueden usarse como recursos organizacionales para desarrollar programas de capacitación en el trabajo y ayudas para la memoria.

Finalmente, Dubberly (2008) describe el uso de mapas conceptuales como una forma de desarrollar una comprensión y un modelo visual de la innovación. Dubberly , citando al científico informático Alan Kay, señala: “La mayor parte de nuestro pensamiento se basa en modelos. Son 'objetos fronterizos' que permiten el discurso entre comunidades de práctica. Esto es lo que hace que los modelos sean tan poderosos” (p. 36).

Mapas conceptuales para la instrucción

La educación en ingeniería, según Sheppard, Macatangay y Colby (2009), “se aferra a un enfoque para la resolución de problemas y el conocimiento.

adquisición que es consistente con la práctica que la profesión ha dejado detrás. Hay, sin embargo, focos de innovación” (p. xxi). Las prácticas innovadoras en la educación en ingeniería incluyen el uso de mapas conceptuales en una variedad de formas, incluso como método de enseñanza y aprendizaje, como estrategia de evaluación y como parte del proceso de diseño del plan de estudios.

Por ejemplo, Muryanto (2006) usó mapas conceptuales como una estrategia de enseñanza en un laboratorio de ingeniería química de la división superior para mejorar el aprendizaje de los estudiantes. En este proyecto, los estudiantes crearon mapas conceptuales tanto individuales como grupales antes, durante y después de sus sesiones de práctica de laboratorio. Los resultados indican que el aprendizaje de los estudiantes se profundizó, lo que llevó a una mayor comprensión de los conceptos enseñados en el laboratorio, y que los estudiantes tenían una mayor confianza en su aprendizaje y comprensión.

De manera similar, Vega- Rieros , Marciales-Vivas y Martínez-Melo (1998) utilizaron Mapas Conceptuales en un curso de pregrado de ingeniería sobre redes neuronales. Indicaron que una ventaja de los mapas es que se pueden traducir directamente a un lenguaje informático para construir una base de conocimientos. Ibrahim, Morsi y Tuttle (2006) están desarrollando módulos de comunicación inalámbrica utilizando mapas conceptuales como medio de aprendizaje activo.

Finalmente, Ryve (2004; 2006) ha estado utilizando mapas conceptuales para facilitar las discusiones de los estudiantes de ingeniería sobre conceptos matemáticos. Ryve demuestra que los mapas conceptuales ayudaron a los estudiantes a comunicarse de manera efectiva y participar en un discurso matemáticamente productivo. Ryve (2004) indica que la construcción colaborativa de los Mapas Conceptuales en álgebra lineal:

... brinda muchas oportunidades para que los estudiantes se comuniquen y aclaren sus objetivos previstos para ellos mismos y entre ellos. El estímulo para aclarar sus focos previstos podría ser una de las razones por las que los discursos de estos estudiantes muestran las características de un discurso matemáticamente productivo (p. 174).

Mapas conceptuales para la evaluación

Los profesores de ingeniería van más allá del simple uso de mapas conceptuales en la enseñanza y el aprendizaje; también los están utilizando para conectar estrategias de enseñanza y evaluación. Por ejemplo, Van Zele , Lenaerts y Wieme (2004) utilizaron mapas conceptuales para evaluar la comprensión de los átomos por parte de los estudiantes de ingeniería. Coller y Scott (2009) utilizaron mapas conceptuales para evaluar el aprendizaje de los estudiantes después de participar en un curso de videojuegos diseñado para enseñar mecánica.

ingeniería y descubrió que los estudiantes en el curso basado en juegos tenían un aprendizaje más profundo que los de los cursos tradicionales.

McClellan et al. (2004) describen el uso de mapas conceptuales en un curso de procesamiento de señales. El objetivo de este curso era familiarizar a los estudiantes con el contenido del curso mediante el uso de mapas conceptuales que los estudiantes desarrollaron para conectarse a un extenso repositorio que incluía demostraciones, pruebas, ejercicios y problemas de tarea. Luego, los Cmaps se evaluaron de tres maneras. Primero, se utilizó una evaluación visual simple para determinar si los mapas eran buenos, promedio o malos. En segundo lugar, se evaluó un subconjunto de los mapas para los tipos de enlaces que se crearon: enlaces buenos, enlaces promedio o enlaces erróneos. Finalmente, Cmaps se evaluó en tres parámetros: corrección, tamaño y complejidad. McClellan et al. indican que los estudiantes con mejores calificaciones en los cursos crearon Cmaps que eran más grandes, pero no necesariamente más correctos o complejos.

Turns, Atman y Adams (2000) describen el uso de mapas conceptuales en varios cursos de ingeniería para respaldar una variedad de funciones de evaluación, incluso como un método para medir rápidamente la comprensión, como un examen final y como una herramienta para evaluar el aprendizaje en el nivel del curso. A nivel de programa, describen el uso de mapas para caracterizar el nivel de conocimientos estadísticos de los estudiantes de ingeniería industrial, para explorar la comprensión de los estudiantes sobre las concepciones de su disciplina y para explorar las concepciones de los estudiantes sobre su profesión. Turns et al. indican: “Claramente, los mapas conceptuales no son una solución de evaluación perfecta. Pueden requerir mucho tiempo para interpretar y aún pueden permanecer ambiguas” (p. 172). Sin embargo, continúan, “los mapas conceptuales representan una forma innovadora de evaluar y comprender mejor el aprendizaje de los estudiantes sobre las relaciones entre los conceptos” (p. 172).

Sims-Knight et al. (2004) amplió este trabajo sobre el uso de mapas conceptuales como método de evaluación en ingeniería. En su trabajo, evaluaron mapas conceptuales construidos por estudiantes en tres cursos superiores de ingeniería. Los Cmaps se centraron en el proceso de diseño y fueron creados por estudiantes de ingeniería de software, ingeniería informática e ingeniería eléctrica. Sims-Knight et al. encontró que se desarrollaron cuatro patrones básicos de mapas: ramificado, cuna de gato (o integrado), web y lineal. Los Cmaps reveló la comprensión subyacente del diseño de los estudiantes y también se ajustó a la experiencia específica del dominio de los estudiantes. Los estudiantes de ingeniería eléctrica crearon mapas más lineales, mientras que los estudiantes de informática y ciencias de la información crearon mapas más integrados (o de cuna de gato). Los autores indican que esto puede reflejar cómo varía el proceso de diseño entre las disciplinas de ingeniería.

Finalmente, Borrego et al. (2009) utilizaron mapas conceptuales para evaluar la integración del conocimiento interdisciplinario. Su estudio de investigación de un año de un curso de diseño en ingeniería verde evaluó cómo los estudiantes desarrollaron una comprensión interdisciplinaria de los procesos de ingeniería verde. Los investigadores compararon mapas conceptuales generados por estudiantes construidos al principio y al final del año. Sus hallazgos indican que los mapas conceptuales son un enfoque viable para la evaluación del conocimiento de ingeniería. Además, Borrego et al. (2009) destacan “problemas importantes en la calificación de los profesores de mapas conceptuales interdisciplinarios que pueden no estar presentes cuando los mapas se usan en entornos tradicionales de una sola disciplina. El marco interdisciplinario reveló diferencias en: (1) criterios de evaluación, (2) experiencia y (3) inversión” (p. 1). Abogan por una cuidadosa selección y capacitación del cuerpo docente utilizando mapas conceptuales en todas las disciplinas.

Mapas Conceptuales para el Diseño Curricular

Los profesores de ingeniería también han comenzado a utilizar los mapas conceptuales en el proceso de diseño del plan de estudios. Upadhyay et al. (2007) realizaron un estudio para identificar los parámetros que influyen en la calidad de un currículo de educación en ingeniería. Mediante un proceso de mejora de la calidad, desarrollaron un mapa conceptual para representar tanto la estructura jerárquica como los conceptos básicos necesarios para desarrollar la competencia en ingeniería. Los Cmaps que desarrollaron identificaron los principales conceptos y subconceptos necesarios para una educación en ingeniería de calidad. Ellos afirman:

Dichos mapas conceptuales ayudarían a los tomadores de decisiones, planificadores y administradores a comprender los vínculos necesarios en el sistema complejo y en evolución conjunta de la educación en ingeniería. Este modelo híbrido también puede ser útil para presentar un escenario de conocimiento de cualquier sistema educativo de ingeniería para su posterior análisis, evaluación o proyección. El patrón general de los mapas conceptuales se puede utilizar como base para la mejora continua y puede proporcionar indicadores para la evaluación de la organización y el desempeño (pág. 32).

La intención de estos investigadores era usar los Mapas conceptuales - desarrollados para un mayor desarrollo y evaluación del currículo longitudinal.

Con base en los estudios anteriores, creemos que los Mapas Conceptuales podrían tener un impacto positivo tanto en la educación de los ingenieros como en la práctica de la ingeniería. Investigaciones anteriores indican que los mapas conceptuales se han utilizado con éxito dentro de la ingeniería para fomentar el pensamiento innovador,

el aprendizaje de los estudiantes y para ayudar en el proceso de diseño del producto. Creemos que los mapas conceptuales pueden fomentar la integración de la enseñanza, el aprendizaje y el desarrollo de productos dentro de la profesión y, por lo tanto, decidimos integrar su uso dentro del Centro de Innovación de Productos Industriales formado en UWM.

EL CASO

El Centro de Innovación de Productos Industriales se formó en UWM a través de la cooperación de socios comerciales y la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la universidad. Los socios comerciales incluyeron: GE Health Care Systems, Briggs and Stratton, Badger Meter, Inc., Eaton Corporation, TAPCO–Traffic and Parking Control Company, Inc., The Great Lakes Water Institute y ReGENco .

Uno de los propósitos principales de este centro es vincular los problemas comerciales que necesitan investigación y desarrollo con los estudiantes y profesores de la Facultad de Ingeniería y de toda la universidad. El centro ha fomentado el desarrollo de asociaciones de investigación entre las empresas y la universidad, así como el fomento de programas de desarrollo de subvenciones y transferencia de tecnología. Una de las actividades más recientes del centro fue fomentar el desarrollo de un curso final sobre realización de productos. Se invitó a participar en el curso a estudiantes de último año de ingeniería eléctrica, mecánica, industrial e informática , así como a estudiantes de arte y diseño gráfico. Los estudiantes formaron ocho equipos, cada uno de los cuales incluía una variedad de estudiantes de ingeniería y un estudiante de arte o diseño gráfico.

Ocho grupos empresariales, cada uno con un producto único que necesitaba investigación y desarrollo, se reunieron con los equipos de estudiantes y explicaron las necesidades del producto y los requisitos del cliente. Luego se pidió a los equipos de estudiantes, con profesores y asesores comerciales y un pequeño presupuesto, que crearan prototipos de diseño de productos para resolver los problemas comerciales presentados. La mayoría de los productos que se desarrollaron eran extremadamente específicos, por ejemplo, una válvula de agua que se puede controlar de forma remota o una interfaz física que permite a los clientes saber cuándo sus cortadoras de césped necesitan más aceite. Otros productos incluyeron un aparato para probar componentes en la próxima generación de escáneres de tomografía computarizada (CT), una unidad digital que puede disparar un relé después de detectar

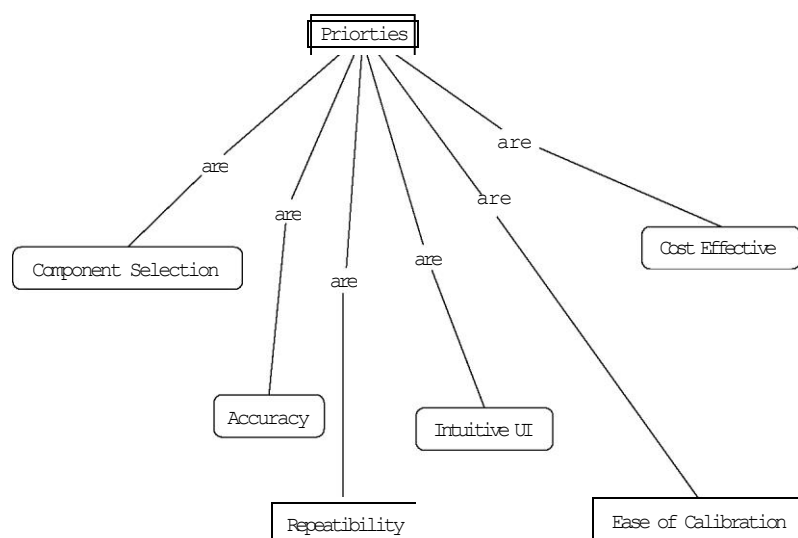
una fuga de falla a tierra, un nuevo letrero de calle iluminado con energía solar y un servo robot con clasificación marina.

Se enseñó a los equipos cómo desarrollar mapas conceptuales y cómo usar CmapTools. Luego, cada equipo trabajó en el proceso de realización del producto para su problema comercial específico. Desarrollaron un plan de proyecto; especificó las necesidades del cliente; requisitos establecidos del producto; generó múltiples conceptos de productos; conceptos seleccionados; diseño, probó y rediseñó el producto; planes de producción desarrollados; y preparado para lanzar el producto.

En este capítulo, nos centramos en cómo dos de estos equipos utilizaron mapas conceptuales en el proceso de diseño. Primero, presentamos uno de los proyectos de equipo que no resultó en un nivel particularmente alto de innovación. El primer equipo usó los mapas conceptuales de una manera que facilitó completar su proyecto, pero no de una manera que creara un resultado altamente innovador. El segundo equipo utilizó los mapas conceptuales de una manera que condujo a un mayor éxito innovador. Aunque no podemos reclamar un papel causal estadístico en estos resultados, podemos argumentar que las diferencias en los Mapas conceptuales de los dos equipos desempeñaron algún papel, ya que los Mapas conceptuales más ricos desarrollados en la etapa de concepción del diseño fueron útiles para guiar el refinamiento de las nociones de diseño. .

Desarrollo de un Dispositivo de Propiedad de Masa

El objetivo del primer equipo era construir un dispositivo que meas con mayor precisión ura la masa y el centro de gravedad de los componentes colocados dentro de la última generación de escáneres CT. Estos nuevos escáneres CT de mayor resolución giran a velocidades angulares significativamente mayores que los modelos anteriores (hasta 8 g). A velocidades de rotación más altas, existe un mayor requisito para que la masa giratoria de los componentes combinados del escáner permanezca balanceada con precisión. Por este motivo, el proyecto requería el desarrollo de un método para determinar con mayor precisión la masa y el centro de gravedad de los componentes dentro de los escáneres. El patrocinador del proyecto especificó que el dispositivo debe poder medir ure componentes con una masa entre 2,5 kg y 250 kg y un volumen entre $0,001 \text{ m}^3$ y $0,192 \text{ m}^3$ y debe tener una precisión de 0,1 kg para la masa y $0,01 \text{ m}^3$ para el volumen. Utilizando la información de antecedentes y los requisitos proporcionados por el patrocinador , el equipo desarrolló un diagrama de Gantt para planificar formalmente el desarrollo de su proyecto durante el semestre de 14 semanas. Entrevistas para aclarar el producto .

**FIGURA 12.1**

Prioridades para el desarrollo del dispositivo de propiedad de masas.

Los requisitos con los usuarios potenciales del dispositivo llevaron al equipo a identificar criterios adicionales que incluyen que el dispositivo (1) sea fácil de operar, (2) sea económico de fabricar, (3) produzca resultados confiables, (4) sea fácil de calibrar, y (5) usar componentes listos para usar. Estas prioridades se colocaron en el diagrama similar a un mapa conceptual que se muestra en la figura 12.1.

Luego, el grupo investigó tecnologías que podrían usarse para medir un centro de gravedad y masa. Estas tecnologías incluían técnicas eléctricas, hidráulicas, neumáticas y de gravedad. Después de analizar y discutir el proyecto individualmente y en equipo, buscar en línea y entrevistar a expertos, el equipo desglosó aún más las tecnologías disponibles para incluir conceptos como transductores de fuerza digitales, potenciómetros, celdas de carga hidráulicas, manómetros de aire y métodos de ameba. Estas tecnologías se organizaron en un diagrama tipo Mapa Conceptual, presentado en la Figura 12.2.

luego se esbozaron los conceptos que los estudiantes identificaron para la propiedad de masa ideada. El boceto de la Figura 12.3 representa el pensamiento de los estudiantes sobre dos tipos diferentes de propiedad en masa ideados que podrían crear.

Siguiendo el desarrollo de los bocetos de muestra en la Figura 12.3, los estudiantes realizaron cálculos para determinar su viabilidad para cumplir con los requisitos del dispositivo.

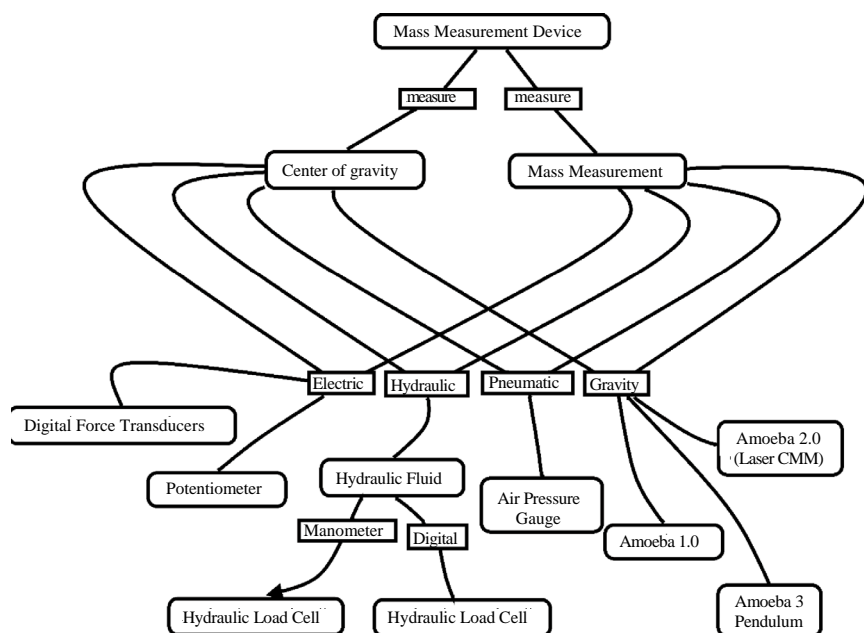


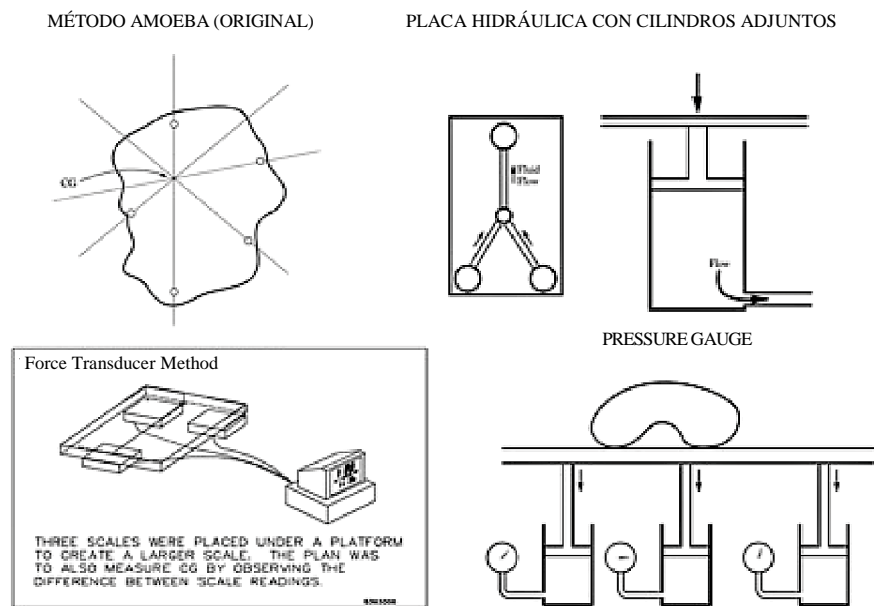
FIGURA 12.2

Tecnologías para el dispositivo de propiedad de masas.

Con base en los bocetos de la Figura 12.3 y los cálculos, el equipo revisó la generación del concepto y la viabilidad de su diseño. Luego, el equipo utilizó una técnica de selección y calificación de conceptos desarrollada específicamente para este curso. La técnica de selección y calificación de conceptos se diseñó para ayudar a los estudiantes a revisar los conceptos que generaron y ayudarlos a determinar cuál de estos conceptos se utilizaría en investigaciones posteriores o en el desarrollo de productos. Este es un proceso de dos pasos. En la selección de conceptos, el equipo reduce el número de conceptos en el diseño del producto y luego califica los conceptos para aplicar prioridades a varios atributos del producto para que se pueda hacer una selección final.

Basándose en este análisis, el equipo decidió seguir adelante con los conceptos de diseño de la celda de carga y del transductor de presión. El método de la celda de carga mediría ure las fuerzas de reacción de soporte e integre software de adquisición de datos y una computadora para realizar cálculos de masa y centro de gravedad . El diseño del dispositivo de celda de carga se probó para determinar su precisión.

El diseño del manómetro se utiliza con cilindros neumáticos para apoyar y medir ure cargas. Este método no tenía los errores asociados con las celdas de carga, pero tenía una resolución más baja. Los valores del manómetro tenían que

**FIGURA 12.3**

Bocetos de muestra para dispositivo de propiedad de masa.

ser registrado manualmente e ingresado en una hoja de cálculo para calcular los valores de masa y centro de gravedad. Al igual que con el método de la celda de carga, el diseño del manómetro se probó colocando cargas conocidas en el sistema para determinar los componentes óptimos que se usarían en el diseño final del dispositivo.

En este primer ejemplo, el equipo que desarrolló el dispositivo de propiedad masiva creó dos diagramas bastante simples que contenían algunas características de los mapas conceptuales. El primer diagrama, representado en la figura 12.1, se creó de forma lineal y no mostraba integración entre los componentes del mapa o entre los conceptos. Además, en los dos diagramas creados por este equipo (Figura 12.1 y Figura 12.2), las palabras de enlace entre conceptos estaban casi ausentes. Por lo tanto, el significado a representar en estos diagramas no era evidente. Creemos que a este equipo le costó conceptualizar su producto en forma de mapa conceptual y, por lo tanto, el resultado del producto, aunque satisfactorio, no fue muy creativo.

Desarrollo de una válvula de cierre remota

El objetivo del segundo proyecto de equipo dentro del curso final sobre realización de productos fue desarrollar un 3/4 pulg. válvula de cierre de agua residencial

Uso de mapas conceptuales dentro del proceso de diseño de productos • 241
que se puede abrir, cerrar o configurar de forma remota en varias posiciones. El equipo

tuvo que crear un prototipo funcional que cumpliera con todas las especificaciones, además de desarrollar un sistema de control, un esquema y el protocolo de software requerido.

Después de entrevistar al patrocinador del proyecto, el equipo determinó que la válvula también debería:

1. No tienen una pérdida de presión significativa cuando están abiertos.
2. Ser ajustable en incrementos del 10 por ciento
3. Tener un recinto que brinde protección contra el daño ambiental y la manipulación.
4. Ser alimentado por batería
5. Ser capaz de operar a 150 psi y soportar una presión de explosión de 450 psi
6. Estar hecho de latón con bajo contenido de plomo o materiales de acero inoxidable.
7. Tener una vida útil de 15 años.

Luego, el equipo desarrolló un plan de proyecto y un diagrama de Gantt para hacer un prototipo de la válvula de cierre de agua. Para refinar aún más los requisitos del producto y comenzar a mapear sus ideas, el equipo desarrolló el Mapa conceptual que se muestra en la Figura 12.4.

El equipo utilizó Cmap para vincular conceptos y mecanismos de alto nivel con los requisitos. Comenzaron con las aplicaciones potenciales y las líneas de productos existentes del patrocinador, profundizaron en los aspectos eléctricos y mecánicos del diseño del producto y finalmente los relacionaron con el cumplimiento de los requisitos. A través del desarrollo del Mapa conceptual, el equipo logró una excelente comprensión de la amplitud y el alcance del proyecto en una etapa temprana.

Después de mapear los requisitos, el equipo comenzó a desarrollar mapas conceptuales para aspectos específicos del producto: el diseño de la válvula, el motor, la tarjeta de control y la fuente de alimentación. La Figura 12.5 muestra el Mapa Conceptual generado para el diseño de la válvula de cierre.

Como muestra la figura 12.5 en los tres nodos principales (es decir, conceptos) debajo del nodo principal, el grupo desarrolló conceptos en tres áreas relacionadas con la válvula de agua: el diseño de la válvula, el controlador y un posible diseño de solenoide. Cada una de estas áreas se llevó a varios niveles posteriores de detalle y se identificaron los enlaces cruzados entre las áreas. Este mapa conceptual del diseño de la válvula de cierre permitió al grupo organizar múltiples conceptos para cada componente del producto. Estos conceptos respaldaron la creación de dibujos de diseño detallados para varias posibles soluciones de válvulas, como se ilustra en la Figura 12.6.

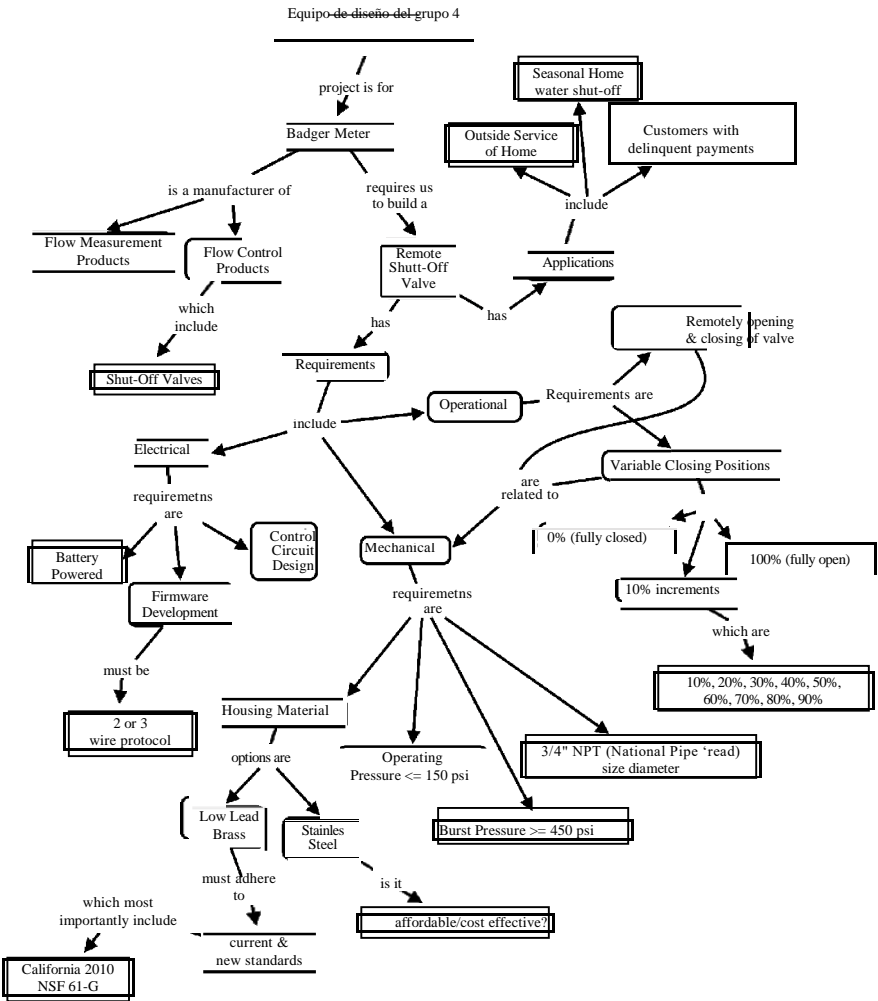


FIGURA 12.4

Mapa conceptual inicial para el desarrollo de la válvula de cierre remoto.

También se ilustran los diseños detallados desarrollados mediante el uso de mapas conceptuales para incorporar diferentes tecnologías de componentes de válvulas, incluida la bola (extremo inferior izquierdo), el globo (extremo inferior central) y el tornillo (extremo inferior derecho).

Después de crear el diseño de los diferentes componentes del producto, este equipo, al igual que el primero, generó una matriz de puntuación de concepto para ayudar a determinar cuál de los conceptos identificados se usaría en el producto final. El procedimiento de puntuación ayudó a evaluar los diseños en una serie de dimensiones pertinentes, como el par y la propensión a la corrosión. El

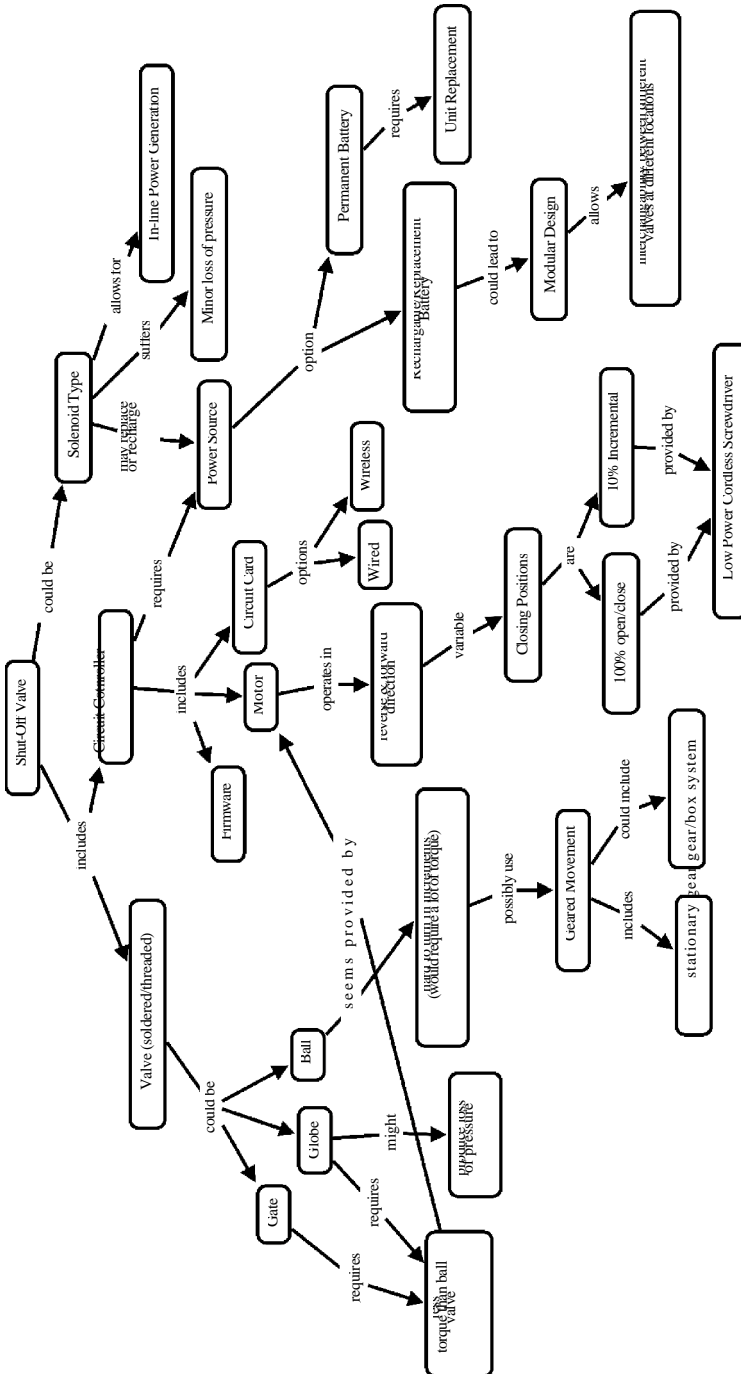
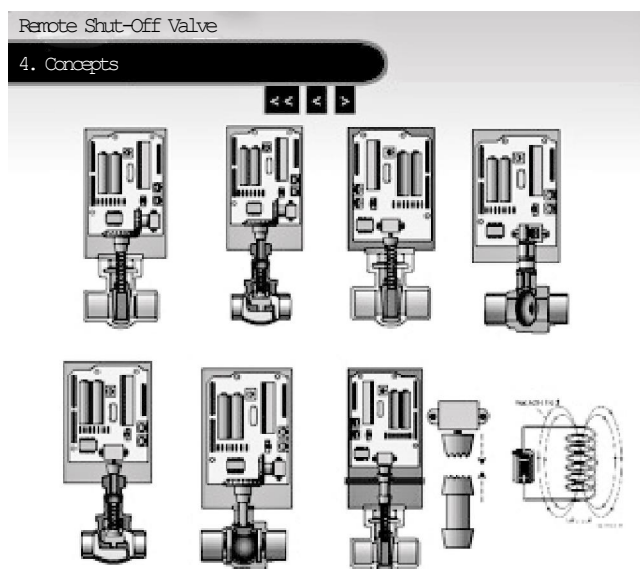


FIGURE 12.5

Final design Concept Map for remote shut-off valve.

**FIGURA 12.6**

Conceptos de diseño de válvulas de cierre remoto

La combinación de los mapas conceptuales y la matriz de puntuación proporcionó a los estudiantes formas alternativas de ver el producto que estaban creando y facilitó la toma de decisiones en equipo sobre el diseño del producto. Luego, el segundo equipo construyó un prototipo y desarrolló un estricto plan de prueba para cumplir con los requisitos del proyecto. Este plan de prueba estableció criterios de aprobación/rechazo e incluyó una lista de modificaciones necesarias.

Comparación de los procesos de desarrollo de productos utilizados por ambos equipos

Tanto el dispositivo de propiedades de masa como los equipos de válvulas de cierre de agua remotas desarrollaron con éxito prototipos de trabajo que cumplieron con los requisitos de los patrocinadores del proyecto. Sin embargo, hubo diferencias en el nivel de creatividad en cada uno de los diseños de productos.

La medida de masa ure El equipo de desarrollo desarrolló dos prototipos de trabajo: uno basado en celdas de carga y el otro basado en manómetros. Tanto el diseño de la celda de carga como el del manómetro cumplieron con los requisitos mínimos de los patrocinadores, pero el cuerpo docente consideró que ninguno tenía un nivel muy alto de sofisticación. Asimismo, los Mapas Conceptuales desarrollados por este equipo

carecía de los tres componentes esenciales del mapeo identificados por Novak y Gowin (1984): subsunción, diferenciación progresiva y reconciliación integradora. En el proceso de subsunción, los conceptos de orden inferior se subsumen bajo conceptos de orden superior. Este proceso de subsunción crea una jerarquía de estructuras de conocimiento. En el proceso de diferenciación progresiva, los conceptos se descomponen en componentes cada vez más finos. De esta manera, la diferenciación progresiva es similar a un proceso de análisis. Finalmente, la reconciliación integradora es un proceso en el que el alumno intenta reconciliar y vincular conceptos del lado izquierdo del Cmap con los del lado derecho del Cmap. Esto es similar a un proceso de síntesis. Como puede verse en la Figura 12.1 y la Figura 12.2, faltan estos tres procesos. Los Cmaps creados por este equipo representan un proceso de pensamiento bastante lineal como componente central de su trabajo de desarrollo de productos. El profesorado que impartía este curso creía que la falta de especificidad en los mapas conceptuales condujo al desarrollo de productos que eran funcionales, pero no necesariamente innovadores.

Por otro lado, la válvula de cierre remota (Figura 12.6) no solo cumplió con todos los requisitos del cliente, sino que también incluyó varias características novedosas. El sistema de control para cerrar la válvula en incrementos de 10 grados fue particularmente complejo e innovador; probablemente el mayor logro del equipo. Se puede plantear la hipótesis de que el Mapeo conceptual más complejo de este equipo condujo a conceptos de productos más complejos y, en última instancia, a un producto más innovador. Como se puede ver en la Figura 12.4 y la Figura 12.5, este equipo subsumió conceptos de orden inferior bajo conceptos de orden superior, diferenciaron conceptos progresivamente en componentes cada vez más finos y crearon enlaces cruzados de un lado del Cmap al otro a través de un proceso de reconciliación integradora. Además, los enunciados proposicionales y las palabras de enlace que los estudiantes usaron en estos Cmaps (Figura 12.4 y Figura 12.5) muestran una mayor comprensión, no solo del producto en general, sino también de las partes componentes del producto.

Respuestas de los estudiantes

Las respuestas de los estudiantes sobre el uso de mapas conceptuales en el proceso de desarrollo de productos se solicitaron en forma de evaluaciones del curso de los ocho equipos. En general, los estudiantes de todos los equipos del curso indicaron que los Cmaps los ayudaron a pensar de diferentes maneras. Por ejemplo, un estudiante indicó que parte de lo que aprendió en el transcurso del semestre

Era lo lineal que se había vuelto su pensamiento. Dijo que los Mapas Conceptuales lo obligaron a pensar de una manera diferente y buscar una variedad de formas de crear un producto. Otro estudiante indicó que su equipo había tratado de usar Cmaps no solo para comprender los productos, sino también para generar ideas creativas en su desarrollo.

No obstante, los procesos de pensamiento necesarios para el diseño de productos seguían siendo difíciles para algunos estudiantes, como indicó un equipo al final de su proyecto:

A lo largo del semestre, nuestro equipo aprendió mucho sobre el proceso de desarrollo de productos. Aprendimos sobre todos los pasos que componen el proceso, así como las herramientas necesarias para completar esos pasos o administrar el proceso. La primera lección crítica que aprendimos fue la importancia de identificar y aclarar los requisitos del cliente. Descubrimos que profundizar en los requisitos en la parte inicial del proceso probablemente ayudaría a minimizar el potencial de aumento del alcance en el proyecto más adelante. En nuestro caso, se produjo cierto deslizamiento del alcance en la fuerza g máxima que se aplicaría a los componentes. Esto nos obligó a reevaluar nuestra selección de diseño y rediseñar el disco. También aprendimos sobre la herramienta C-Mapping (*sic*) para ayudar a pensar fuera de la caja sobre posibles soluciones. Descubrimos que esta herramienta era más difícil de aplicar de lo que esperábamos. Incluso con el uso de esta herramienta, aún teníamos dificultades para desarrollar soluciones innovadoras para el problema. Las herramientas de puntuación y selección fueron muy útiles para identificar qué combinación de conceptos para el disco, el eje y la base cumpliría mejor con los requisitos del cliente.

En resumen, los comentarios de los estudiantes a lo largo del semestre indican que encontraron que los mapas conceptuales no eran triviales para aprender y aplicar y, sin embargo, eran una herramienta muy útil que los ayudó de muchas maneras diferentes , como por ejemplo:

- Mejorar la comunicación dentro del equipo, lo que fue particularmente beneficioso ya que los miembros del equipo eran estudiantes de diferentes disciplinas.
- Promover la innovación y proporcionar una hoja de ruta visual para explorar ideas y crear una base de conocimientos.
- Visualizar relaciones que generaron nuevas ideas.
- Facilitar las discusiones proporcionando un contexto detallado de las tareas.
- Facilitar la integración de conocimientos interdisciplinarios.
- Entender la amplitud y el alcance del proyecto y las diferentes tareas.

Estos comentarios se recibieron tanto de equipos que lucharon por desarrollar sus productos como de equipos que se destacaron en el desarrollo de sus productos.

Respuestas comerciales

Tras la finalización de la clase y el proceso de realización del producto, se encuestó a todos los socios comerciales para conocer su opinión. La encuesta consistió en un cuestionario de 12 ítems en el que los participantes completaron una calificación de escala Likert con 1 en el extremo inferior de la escala y 5 indicando excepcional. Los ítems pedían a los socios comerciales que evaluaran cosas como la comprensión de los estudiantes sobre los requisitos del proyecto, la capacidad del equipo para comunicarse, la eficacia de los instructores del curso y la interacción entre estudiantes y patrocinadores. Los promedios generales para cada elemento de la encuesta oscilaron entre 3,75 y 4,25, lo que indica un nivel general de satisfacción demostrado por los socios comerciales. Una parte de la encuesta, en particular, pedía a los socios comerciales que evaluaran la eficacia de las soluciones creativas de los equipos. Este ítem se vinculó directamente con el uso de mapas conceptuales por parte de los estudiantes en el curso, y la puntuación media en este ítem fue de 4. Finalmente, las respuestas cualitativas generales de los socios comerciales indicaron que el proceso de realización del producto fue una experiencia positiva para ellos y los estudiantes.

IMPLICACIONES DEL USO DE MAPAS CONCEPTUALES EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS

Los estudiantes, socios comerciales y profesores de ingeniería involucrados en este caso indicaron que los mapas conceptuales tienen un papel potencial que desempeñar en el desarrollo de nuevos productos. En este caso, como en la literatura, los Cmaps fueron fundamentales en varias áreas. Primero, los Cmaps parecían ayudar a los equipos a comunicarse. Los profesores y socios comerciales observaron que en la primera mitad del semestre, los Cmaps facilitaron la discusión a medida que los equipos generaban ideas, desarrollaban conceptos y seleccionaban conceptos para sus productos.

En segundo lugar, para todos los equipos de este curso, los Cmaps funcionaron como una representación visual del proceso de desarrollo de productos. Los equipos apreciaron que los Cmaps se modificaron fácilmente para reflejar sus ideas cambiantes durante el proceso de diseño. Los estudiantes comentaron que CmapTools no solo era fácil de aprender, sino que también se modificaba fácilmente a medida que cambiaban sus ideas.

En tercer lugar, los equipos parecían descubrir que los Cmaps les ayudaban a comprender sus procesos de pensamiento y aprendizaje. Por ejemplo, un equipo discutió, con un instructor, cómo los Cmaps ayudaron a los estudiantes de ingeniería y artes gráficas a comprender cuán diferente cada uno de ellos analizaba ideas y creaba sus propios procesos de pensamiento. En este equipo, los estudiantes estaban intrigados por las comparaciones de Cmaps lineales versus completamente integrados.

Además, la literatura de ingeniería sugiere que la estructura de un mapa conceptual, es decir, ramificación, cuna de gato (o integrada), red o lineal (Sims-Knight et al., 2004), puede ser indicativa de la experiencia específica del dominio del creador del mapa. Los estudios indican que los diagramas significativos de conceptos de dominio pueden diferenciar el conocimiento experto del no experto y que los mapas conceptuales pueden apoyar la formación de consenso entre los expertos (Gordon, Schmierer y Gill, 1993). La evidencia de los estudios de expertos frente a sus novatos indica que la experiencia generalmente se asocia no solo con un conocimiento más detallado, sino con un conocimiento mejor organizado que el de los novatos (Glaser, 1987).

Hays y Kinchin (2006), en la literatura educativa, describen una tipología similar de mapas e indican que a medida que los individuos desarrollan Mapas Conceptuales tienden a usar un formato lineal (o de cadena), luego un formato radial o formato de red. Sin embargo, Hays y Kinchin no atribuyen estas diferentes estructuras al conocimiento o la experiencia específicos del dominio per se; más bien, indican que el tipo de mapa creado refleja el tipo de pensamiento. Además, diferentes tipos de pensamiento sirven para diferentes propósitos, y ser capaz de alternar entre tipos de pensamiento es una habilidad importante. Hays y Kinchin postulan que la capacidad de un individuo para cambiar entre el pensamiento de "cadena" y "red" puede ser un componente de la experiencia. Hays y Kinchin (2006) continúa diciendo: "El pensamiento en cadena tiene una utilidad considerable en situaciones prácticas. Sin embargo, la capacidad de retener redes complejas en una estructura subyacente mientras se mueve rápidamente a cadenas prescriptivas probablemente sea el sello distintivo del gerente y líder exitoso" (p. 140).

En el trabajo de los dos equipos descritos en este capítulo, no está claro si la estructura del Mapa conceptual creada por cada equipo está relacionada con el tipo de producto que se está desarrollando, la experiencia del equipo o la complejidad del proceso de diseño. Esta es un área que necesita más investigación y exploración. ¿Los ingenieros en el proceso de desarrollo y diseño de productos se involucran en cambiar entre el pensamiento en cadena y el pensamiento en red como se describe?

por Hays y Kinchin ? ¿Es el cambio de procesos de pensamiento un sello distintivo de la creatividad y el desarrollo de experiencia en un dominio específico? El trabajo adicional en esta área podría ayudar a comprender la dinámica subyacente en el proceso de desarrollo y realización del producto.

Finalmente, como afirman Novak y Cañas (2006):

Si bien a primera vista los mapas conceptuales pueden parecer solo otra representación gráfica de información, comprender los fundamentos de esta herramienta y su uso adecuado llevará al usuario a ver que esta es realmente una herramienta profunda y poderosa. Al principio puede parecer un simple arreglo de palabras en una jerarquía, pero cuando se tiene cuidado al organizar los conceptos representados por las palabras, y las proposiciones o ideas se forman con palabras de enlace bien escogidas, uno comienza a ver que un buen mapa conceptual es a la vez simple, pero también elegantemente complejo con significados profundos (p. 31).

Como se demuestra en este estudio de caso, los mapas conceptuales pueden desempeñar un papel útil en el proceso de realización del producto. La integración de mapas conceptuales dentro del proceso de desarrollo de productos puede ayudar con la colaboración grupal, logrando un terreno común y un propósito compartido, generando conceptos, seleccionando conceptos y presentando ideas complejas en un formato simplificado.

REFERENCIAS

- Borrego, M., CB Newswander y LD McNair, et al. 2009. Uso de mapas conceptuales para evaluar la integración interdisciplinaria del conocimiento de ingeniería verde. *Avances en la educación en ingeniería*, 1–26.
- Coller, BD y MJScott. 2009. Eficacia del uso de un videojuego para impartir un curso de ingeniería mecánica. *Informática y Educación* 53: 900–12.
- Douglas, J., E. Iversen y C. Kalyandurg . 2004. Ingeniería en el salón de clases K-12: Un análisis de las prácticas actuales y pautas para el futuro. Washington, DC: Sociedad Estadounidense para la Educación en Ingeniería. Obtenido de <http://www.engineeringk12.org>
- Dubberly, H. 2008. Hacia un modelo de innovación. *Interacciones* (enero-febrero), 28–36.
- Florida, F. y M. Kenney. 1990. *La ilusión revolucionaria: el fracaso de las empresas estadounidenses para pasar de la innovación a la producción en masa*. Nueva York: Basic Books, Inc.
- Glaser, R. 1987. Reflexiones sobre la experiencia. En *Funcionamiento cognitivo y estructura social a lo largo del curso de vida* (págs. 81–94), eds. C. Schooler y W. Schaie . Norwood, Nueva Jersey: Ablex .
- Gordon, SE, KA Schmierer y RT Gill. 1993. Análisis gráfico conceptual: Conocimiento adquisición para el diseño de sistemas de instrucción. *Factores humanos* 35, 459–481.
- Hays, D. B. e IM Kinchin . 2006. Uso de mapas conceptuales para revelar tipologías conceptuales. *Educación y formación* 48 (2–3): 127–42.

- Ibrahim, W., R. Morsi y T. Tuttle. 2006. Mapas conceptuales: una herramienta activa de aprendizaje y evaluación en ingeniería eléctrica e informática. Trabajo presentado en la Sociedad Americana para la Educación en Ingeniería, Universidad de Indiana/Universidad de Purdue, Fort Wayne. <http://ilin.asee.org/Conference2006program/Papers/Ibrahim-P66.pdf> (consultado el 10 de enero de 2010).
- McCartor, MM y JJ Simpson. 1999. Los mapas conceptuales como herramienta de comunicación en la ingeniería de sistemas. Documento presentado en las actas del 9º Simposio Internacional Anual del Consejo Internacional de Ingeniería de Sistemas, Brighton, Inglaterra.
- McClellan, JH, M. Borkar y V. Rajbabu, et al. 2004. Mapas conceptuales para navegar por los recursos educativos de procesamiento de señales. Disponible en línea en http://users.ece.gatech.edu/~rajbabu/publicaciones/CMAP_DSPWS2004.pdf
- Moon, B., R. Hoffman y D. Ziebell. 2009. ¿Cómo hicieron eso? *Perspectivas eléctricas* 34: 20–29.
- Muryanto, S. 2006. Mapas conceptuales: una herramienta de aprendizaje interesante y útil para los laboratorios de ingeniería química. *Revista Internacional de Ingeniería. Educación* 22 (5): 979–85.
- Junta Nacional de Ciencias. 2007. Avanzando para mejorar la educación en ingeniería.
NSB-07-122. Obtenido de <http://www.nsf.gov/pubs/2007/nsb07122/index.jsp>
- Novak, J. D. y B. Gowin. 1984. *Aprendiendo a aprender*. Oxford, Reino Unido: Cambridge Prensa Universitaria.
- Novak, J. D. y AJ Cañas. 2006. La teoría subyacente a los mapas conceptuales y cómo construirlos. Informe técnico IHMC CmapTools 2006-01, Florida Institute for Human and Machine Cognition. <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf> (consultado el 12 de junio de 2009).
- Ryve, A. 2004. ¿Puede el mapeo conceptual colaborativo crear discursos matemáticamente productivos? *Estudios educativos en matemáticas* 26: 157–77.
- Ryve, A. 2006. Haciendo explícito el análisis de los discursos matemáticos de los estudiantes: revisando un marco metodológico recientemente desarrollado. *Estudios Educativos en Matemáticas* 62: 191–209.
- Salustri, FA, NL Eng y JS Weerasinghe. 2008. Visualización de información en los primeros etapas del diseño de ingeniería. *Diseño y aplicaciones asistidos por computadora* 5: 1–18.
- Schvaneveldt, RW, FT Durso y TE Goldsmith, et al. 1985. Midiendo la estructura de experiencia *Revista Internacional de Estudios Hombre-Máquina* 23, 699–728.
- Sheppard, SD, K. Macatangay y A. Colby. 2009. *Educando ingenieros: Diseñando para el futuro del campo*. San Francisco: Jossey-Bass, Inc.
- Sims-Knight, JE, RL Upchurch y N. Pendergrass, et al. 2004. Uso de mapas conceptuales para evaluar el conocimiento del proceso de diseño. Ponencia presentada en la 34.ª ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Savannah, GA. <http://www.asee-conference.org/2004/papers/1167.pdf> (consultado el 10 de enero de 2010).
- Turnos, J., CJ Atman y R. Adams. 2000. Mapas conceptuales para la educación en ingeniería: una herramienta cognitivamente motivada que respalda diversas funciones de evaluación. *IEEE Transactions on Education* 43: 164–73.
- Ugwu, OO, CJ Anumba y A. Thorpe. 2004. El desarrollo de modelos cognitivos de evaluación de la constructibilidad en estructuras de estructura de acero. *Avances en software de ingeniería* 35: 191–203.
- Upadhyay, RK, SK Gaur y VP Agrawal, et al. 2007. ISM-CMAP-Combine (ICMC) para el escenario de conocimiento jerárquico en la educación en ingeniería de calidad. *Revista europea de educación en ingeniería* 32: 21–33.

- Van Zele , E., J. Lenaerts y W. Wieme . 2004. Mejorando la utilidad de los mapas conceptuales como herramienta de investigación para la educación científica. *Revista Internacional de Educación Científica* 26 (9): 1043–1064.
- Vega- Rieros , JF, GP Marciales-Vivas , and M. Martinez-Melo. 1998. Mapas conceptuales en la educación en ingeniería: un estudio de caso. *Revista global de educación en ingeniería* 2 (1): 21–27.