

La Teoría Subyacente a los Mapas Conceptuales y a Cómo Construirlos¹²

Reporte Técnico IHMC CmapTools 2006-01

Joseph D. Novak
Profesor Emérito, Cornell University
Senior Research Scientist
Florida Institute for Human and Machine Cognition (IHMC)

y

Alberto J. Cañas
Subdirector
Florida Institute for Human and Machine Cognition (IHMC)
www.ihmc.us

Introducción

Los mapas conceptuales son herramientas gráficas para organizar y representar conocimiento. Ellos incluyen conceptos, generalmente encerrados en círculos o cajitas de algún tipo, y relaciones entre los conceptos indicadas por una línea conectiva que enlaza dos conceptos. Las palabras sobre la línea, denominadas *l* palabras de enlace o frases de enlace, especifican la relación entre los dos conceptos. Definimos *concepto* como *una regularidad percibida en eventos u objetos, o registros de eventos u objetos, designados por una etiqueta*. La etiqueta para la mayoría de los conceptos es una palabra, sin embargo algunas veces utilizamos símbolos tales como + o %, y algunas veces se usa más de una palabra. Las *proposiciones* son *afirmaciones sobre un objeto o evento en el universo, ya sea que ocurra naturalmente o sea construido*. Las *proposiciones* contienen dos o más conceptos conectados mediante palabras o frases de enlace para formar una afirmación con significado. Algunas veces éstas son llamadas unidades semánticas o unidades de

¹ Revisado 18 de Septiembre, 2007. Citar como: “Novak, J. D. & A. J. Cañas, La Teoría Subyacente a los Mapas Conceptuales y a Cómo Construirlos, Reporte Técnico IHMC CmapTools 2006-01, Florida Institute for Human and Machine Cognition, 2006, disponible en: <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>”

² Traducción de Carmen M. Collado y Norma Miller, Proyecto Conéctate al Conocimiento, Panamá.

Existen dos características de los mapas conceptuales que son importantes en la facilitación del pensamiento creativo; la estructura jerárquica que está representada en un buen mapa conceptual y la habilidad de buscar y caracterizar nuevos enlaces cruzados.

Un elemento final que puede ser agregado a los mapas conceptuales son los ejemplos específicos de eventos u objetos, los cuales ayudan a aclarar el significado de un concepto dado. Normalmente estos no están incluidos en óvalos o rectángulos, ya que son eventos u objetos específicos y no representan conceptos.

Los mapas conceptuales fueron desarrollados en 1972 en el transcurso del programa de investigación de Novak en Cornell donde él se dedicó a seguir y entender los cambios en el conocimiento de las ciencias en niños (Novak & Musonda, 1991). Durante el transcurso de este estudio los investigadores entrevistaron muchos niños, y encontraron difícil identificar cambios específicos en la comprensión de los conceptos de ciencias en los niños al examinar las transcripciones de las entrevistas. Este programa se basó en la psicología del aprendizaje de David Ausubel (1963; 1968; Ausubel *et al.*, 1978). La idea fundamental en la psicología cognitiva de Ausubel es que el aprendizaje ocurre por *asimilación* de nuevos conceptos y proposiciones en una estructura conceptual y proposicional ya existente que tiene el aprendiz. A esta estructura de conocimiento que tiene el aprendiz también se le conoce como *la estructura cognitiva* del individuo. Debido a la necesidad de encontrar una mejor manera de representar la comprensión conceptual de los niños surgió la idea de representar el conocimiento de los niños en forma de un mapa conceptual. Así nació una nueva herramienta no solo para uso en investigación, sino también para muchos otros usos.

Fundamentos Psicológicos de los Mapas Conceptuales

Algunas veces surge la pregunta sobre el origen de nuestros primeros conceptos. Estos son adquiridos por los niños desde que nacen hasta la edad de tres años, cuando reconocen regularidades en el mundo que los rodea y comienzan a identificar etiquetas de lenguaje o símbolos para estas regularidades (Macnamara, 1982). Este aprendizaje temprano de conceptos es principalmente un proceso de *aprendizaje por descubrimiento*, donde el individuo distingue patrones o regularidades en eventos u objetos y reconoce éstas como las mismas regularidades etiquetadas por personas mayores con palabras o símbolos. Esta es una habilidad fenomenal que es parte de la herencia evolutiva de todos los seres humanos normales. Después de los 3 años, el aprendizaje de nuevos conceptos y proposiciones es mediado fuertemente por el lenguaje, y se lleva a cabo sobre todo por un proceso de *aprendizaje por recepción* donde los nuevos significados son obtenidos al hacer preguntas y obtener respuestas que clarifiquen las relaciones entre conceptos y proposiciones previos y nuevos conceptos y proposiciones. Esta adquisición es mediada de manera muy importante cuando están disponibles experiencias concretas o apoyos; por ende la importancia de actividades prácticas en el aprendizaje de la ciencia con niños

pequeños, pero esto también es cierto con aprendices de cualquier edad y en cualquier tema.

Además de la distinción entre el proceso de aprendizaje por descubrimiento, donde los atributos de los conceptos son identificados autónomamente por el aprendiz, y el proceso de aprendizaje por recepción, donde los atributos de los conceptos son descritos usando lenguaje y transmitidos al aprendiz, Ausubel hizo la muy importante distinción entre *aprendizaje memorístico* y *aprendizaje significativo*. El aprendizaje significativo requiere de tres condiciones:

1. El material que se va a aprender debe ser conceptualmente claro y presentado con un lenguaje y ejemplos que puedan relacionarse al conocimiento previo del aprendiz. Los mapas conceptuales pueden ser útiles para lograr esta condición, tanto en la identificando conceptos generales que posee el aprendiz antes de la instrucción de conceptos más específicos, como asistiendo en la secuenciación de las tareas de aprendizaje a través de conocimiento progresivamente más explícito que puede ser anclado en las estructuras conceptuales en desarrollo.
2. El aprendiz debe poseer conocimiento previo relevante. Esta condición puede lograrse después de la edad de 3 años prácticamente para cualquier dominio temático, pero es necesario tener cuidado y ser explícito en la construcción de estructuras conceptuales si uno espera presentar conocimiento específico detallado en cualquier campo en lecciones posteriores. Vemos, por lo tanto, que las condiciones (1) y (2) están interrelacionadas y ambas son importantes.
3. El aprendiz debe escoger aprender significativamente. La única condición sobre la cual el maestro o mentor tiene solo control indirecto es la motivación de los estudiantes de elegir aprender por medio de intentar incorporar nuevos significados dentro de su conocimiento previo, en lugar de simplemente memorizar definiciones de conceptos o declaraciones proposicionales o procedimientos computacionales. El control indirecto sobre esta opción está sobre todo en las estrategias instruccionales y en las estrategias de evaluación utilizadas. Las estrategias instruccionales que enfatizan el relacionar nuevo conocimiento con el conocimiento ya existente en el aprendiz fomentan el aprendizaje significativo. Estrategias de evaluación que motivan a los aprendices a relacionar ideas que ellos tienen con nuevas ideas también favorecen el aprendizaje significativo. Las pruebas objetivas típicas pocas veces requieren más que un aprendizaje memorístico (Holden, 1992). De hecho, las peores formas de pruebas objetivas, o pruebas de respuesta corta, demandan recordar enunciados al pie de la letra y esto podría ser impedido por el aprendizaje significativo en el que el nuevo conocimiento es asimilado en armazones ya existentes, haciendo difícil recordar definiciones o descripciones específicas al pie de la letra. Este tipo de problema fue reconocido años atrás en el libro *La Tiranía de la Evaluación* de Hoffman (1962).

Como se menciona anteriormente, es importante reconocer que debido a que las personas varían en la cantidad y calidad del conocimiento relevante que ellas poseen, y en la fuerza de su motivación para buscar maneras de incorporar nuevo conocimiento en el conocimiento relevante que ya poseen, la distinción memorístico-significativo no es una simple dicotomía sino más bien un continuo. La creatividad puede verse como un nivel muy alto del aprendizaje significativo, y discutiremos esto más adelante. Estas ideas se muestran en la Figura 2.

Comúnmente se confunde aprendizaje memorístico y aprendizaje significativo con métodos de enseñanza que pueden variar a lo largo de un continuo desde presentación directa de información (la cual puede ser conceptualmente oscura o conceptualmente explícita) hasta métodos de descubrimiento autónomos donde el aprendiz percibe las regularidades y construye sus propios conceptos. Tanto el método de la presentación directa como el de descubrimiento pueden llevar a un aprendizaje altamente memorístico o altamente significativo por parte del aprendiz, dependiendo de la disposición del aprendiz y de la organización de los materiales. Estas distinciones se muestran en la Figura 3. Existe la noción equivocada de que estudios por “indagación” e asegurarán un aprendizaje significativo. La realidad es que a menos que los estudiantes posean por lo menos un entendimiento *conceptual* rudimentario del fenómeno que están investigando, la actividad

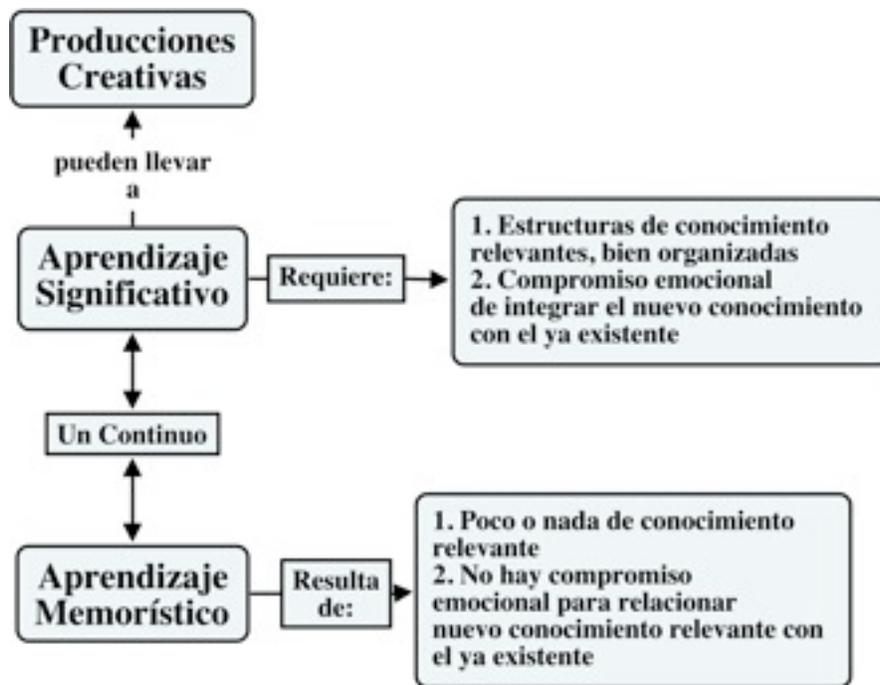


Figura 2. El aprendizaje puede variar desde altamente memorístico hasta altamente significativo. La creatividad resulta de niveles muy altos de aprendizaje significativo.

puede llevar a muy poco o nada de ganancia en su conocimiento relevante y puede ser poco más que trabajo para mantenerlos ocupados.

Uno de los usos más poderosos de los mapas conceptuales no es solo como herramienta de aprendizaje sino también como una herramienta de evaluación, motivando de esta forma a los estudiantes a usar modos significativos de patrones de aprendizaje (Mintzes *et al.*, 2000; Novak, 1990; Novak & Gowin, 1984). Los mapas conceptuales son también efectivos en identificar tanto las ideas válidas como las no válidas que mantienen los estudiantes, y esto será discutido más profundamente en otra sección. Ellos pueden ser tan efectivos para identificar el conocimiento relevante que el aprendiz posee antes o después de la instrucción como lo son las entrevistas clínicas que consumen mucho más tiempo (Edwards & Fraser, 1983).

Otro avance importante en nuestro entendimiento del aprendizaje es que la memoria humana no es un único “envase” para ser llenado, sino más bien un complejo conjunto de sistemas de memoria interrelacionados. La Figura 4 ilustra los sistemas de memoria de la

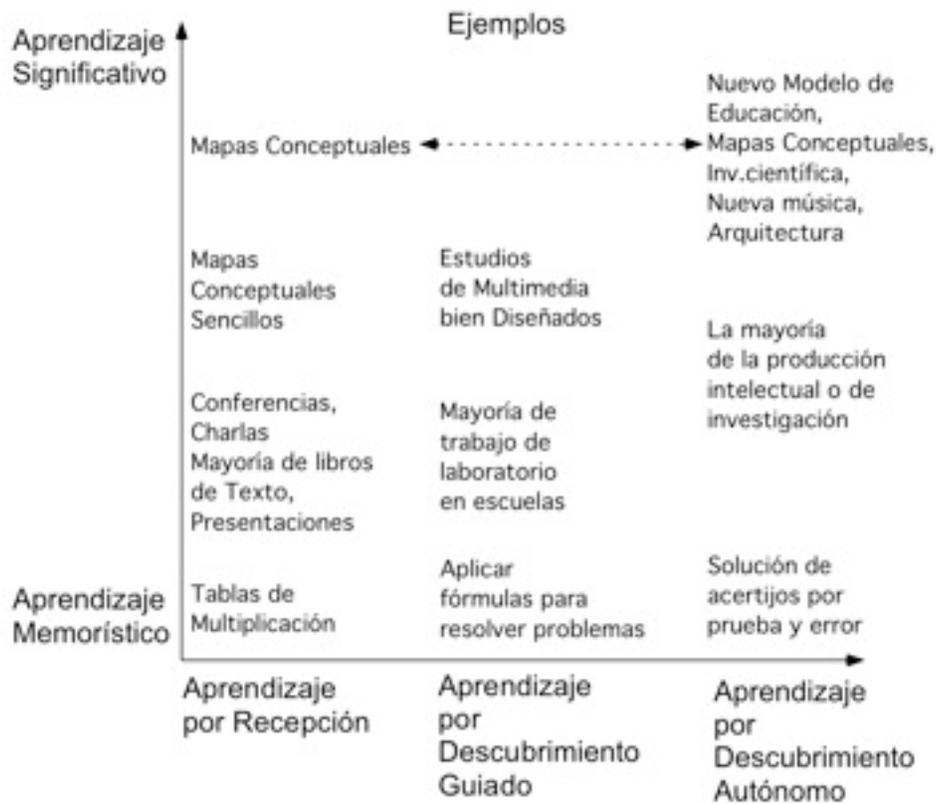


Figura 3. El continuo aprendizaje memorístico-aprendizaje significativo es distinto del continuo aprendizaje por recepción-aprendizaje por descubrimiento. Figura adaptada de traducida de Novak (1998, pp. 58).

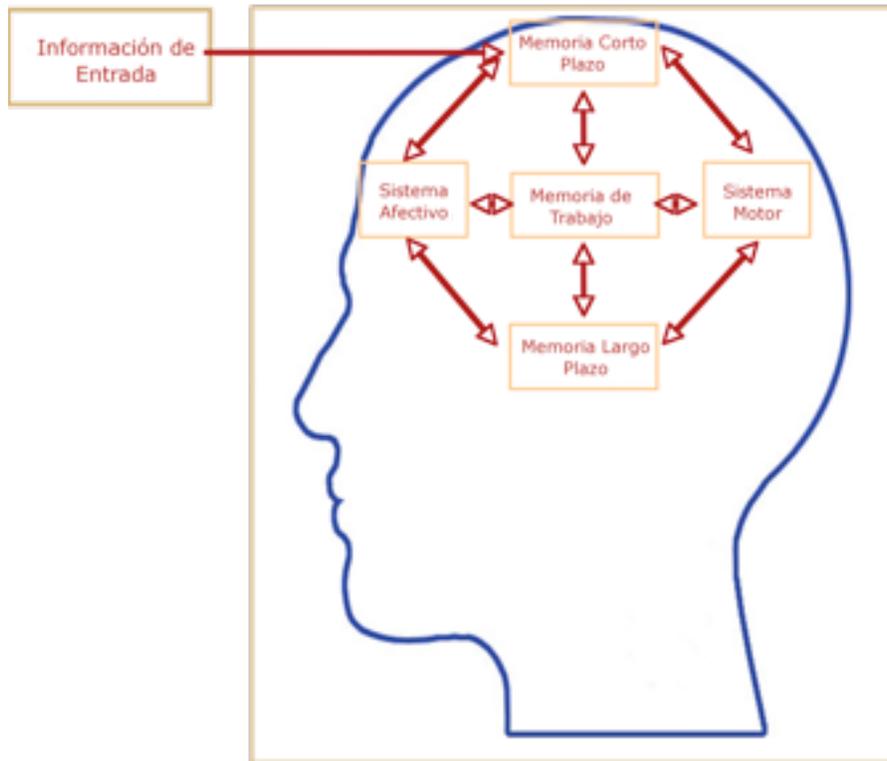


Figura 4. Sistemas claves de memoria del cerebro y sus interacciones.

mente humana, y sus interacciones con las entradas de información de nuestros sistemas afectivo y psicomotor.

Aunque que todos los sistemas de memoria son interdependientes (y tienen información yendo en ambas direcciones), los sistemas de memoria más críticos para incorporar conocimiento en la memoria de largo plazo son la memoria de corto plazo y “memoria de trabajo.” Toda la información entrante se organiza y procesa en la memoria de trabajo por medio de la interacción con el conocimiento en la memoria de largo plazo. La característica limitante aquí es que la memoria de trabajo puede procesar solo un número relativamente pequeño de unidades psicológicas (cinco a nueve) en un momento dado.

Esto significa que las relaciones entre dos o tres conceptos son más o menos el límite de la capacidad de procesamiento de la memoria de trabajo. Por ejemplo, si a una persona se le presenta una lista de 10-12 letras o números para memorizar en unos pocos segundos, la mayoría recordarán solo 5 a 9 de éstos. Sin embargo, si las letras se pueden agrupar para formar una palabra conocida, o una unidad que parece una palabra, o los números pueden relacionarse a un número telefónico o algo conocido, entonces 10 o más letras o números pueden ser recordados. En una prueba relacionada, si le damos a los aprendices a

memorizar en pocos segundos 10-12 palabras que son familiares pero que no tienen relación, la mayoría recordarán solo 5-9 palabras. Si las palabras no son familiares, como es el caso con términos técnicos introducidos por primera vez, al aprendiz le irá bien si puede recordar correctamente dos o tres de estas. Por el contrario, si las palabras son familiares pueden ser relacionadas al conocimiento que el aprendiz tiene en su estructura cognitiva, por ejemplo, los meses del año, y en ese caso 12 o más podrían fácilmente ser recordadas.

Debe notarse que la retención de información aprendida de forma memorística todavía ocurre en la memoria de largo plazo, como ocurre también con la información aprendida significativamente; la diferencia es que en el aprendizaje memorístico, hay poca o ninguna integración de nuevo conocimiento con el conocimiento existente lo que da como resultado dos consecuencias negativas. Primero, el conocimiento aprendido de memoria tiende a olvidarse rápidamente, a menos que sea bastante repetido o ensayado. Segundo, la estructura de conocimiento o estructura cognitiva del aprendiz no es mejorada o modificada para aclarar ideas erróneas. Por tanto, los errores de concepto persistirán, y el potencial del conocimiento aprendido para uso en aprendizajes futuros y/o solución de problemas es poco o nulo (Novak, 2002).

Por lo tanto, para estructurar grandes cuerpos de conocimiento se requiere una secuencia ordenada de iteraciones entre la memoria de trabajo y la memoria de largo plazo a medida que el nuevo conocimiento es recibido (Anderson, 1992). Creemos que una de las razones por la que los mapas conceptuales son tan poderosos para facilitar el aprendizaje significativo es que éstos funcionan como una especie de *plantilla* o *andamio* para ayudar a organizar conocimiento y estructurarlo, aún cuando la estructura debe ser construida pieza por pieza con unidades pequeñas de estructuras conceptuales y proposicionales que interactúan entre sí. Muchos aprendices y maestros se sorprenden de ver cómo esta simple herramienta facilita el aprendizaje significativo y la creación de poderosas estructuras de conocimiento que no solo permiten la utilización del conocimiento en nuevos contextos, sino también la retención del conocimiento por largos periodos de tiempo (Novak, 1990; Novak & Wandersee, 1991). Todavía se conoce relativamente poco sobre los procesos de la memoria y cómo el conocimiento finalmente es incorporado en nuestro cerebro, pero parece evidente desde diversas fuentes de investigación de que nuestro cerebro funciona para organizar conocimiento en estructuras jerárquicas y que las enfoques de aprendizaje que facilitan este proceso aumentan significativamente la capacidad de aprendizaje de todos los aprendices (Bransford *et al.*, 1999).

Aunque es cierto que algunos estudiantes tienen dificultad construyendo mapas conceptuales y usándolos, por lo menos al inicio de su experiencia, esto parece ser primordialmente consecuencia de años de una práctica de aprendizaje memorístico en ambientes escolares, más que como resultado de diferencias de estructura cerebral en sí. Las llamadas diferencias de “estilos de aprendizaje” son, en gran parte, derivadas de las diferencias en los patrones de aprendizaje que los estudiantes han utilizado, y que varían

desde un alto compromiso con un modo de aprendizaje memorístico continuo hasta un compromiso casi exclusivo con un modo de aprendizaje significativo. No es fácil ayudar a

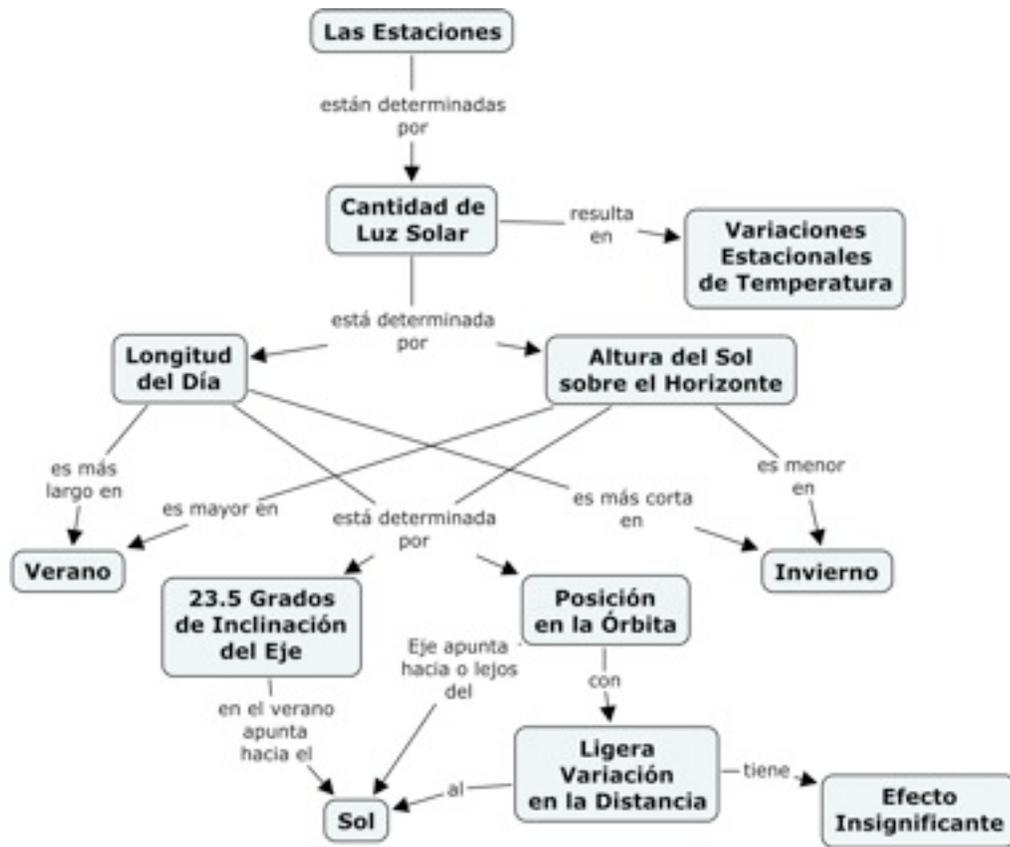


Figura 5. Una representación de la estructura de conocimiento requerida para entender por qué tenemos estaciones.

estudiantes en la primera condición a que pasen a patrones de aprendizaje del segundo tipo. Si bien los mapas conceptuales pueden ayudar, los estudiantes también necesitan que se les enseñe algo acerca de los mecanismos del cerebro y la organización de conocimiento, y esta instrucción debe acompañar el uso de mapas conceptuales. La información en los párrafos anteriores debe volverse parte del programa instruccional para el uso diestro de los mapas conceptuales. La información que se brinda en este documento podría ser parte de esta instrucción. Otras ideas para mejorar la instrucción para lograr un entendimiento del tema pueden encontrarse en otras fuentes (Mintzes *et al.*, 1998).

Para ilustrar lo difícil que puede ser para los individuos modificar sus ideas, especialmente si aprenden primordialmente de forma memorística, citamos el ejemplo de entrevistas hechas por el Proyecto Universo Privado (PUP, sus siglas en Inglés) de la Universidad de Harvard (Schneps, 1989). El personal del PUP entrevistó a 23 graduados, alumnos y

profesores, preguntándole a cada uno “¿Por qué tenemos estaciones?” Solo se necesitan once conceptos, adecuadamente organizados, para entender por qué tenemos estaciones, y un arreglo de estos conceptos se muestra en la Figura 5. Los entrevistadores del PUP encontraron que 21 de los 23 entrevistados no podían explicar por qué tenemos estaciones, un tema que es enseñado repetidamente en la escuela. Este grupo incluía un graduado recientemente que acababa de tomar un curso sobre la Física de Movimientos Planetarios, el cual también creía erróneamente que las estaciones eran causadas por la tierra moviéndose más cerca del sol durante el verano y más lejos durante el invierno. De hecho, en Massachusetts La Tierra está ligeramente más cerca del sol en el invierno que en el verano. La principal razón por la que tenemos estaciones en las latitudes alejadas del ecuador se debe a la inclinación de la tierra sobre su eje hacia el sol en el verano, lo cual resulta en días más largos y radiación más directa, por lo tanto mayor calentamiento. Lo que está interfiriendo con estas 21 personas de Harvard es una confusión con la experiencia común de que cuando estamos más cerca de un fuego o lámpara, el calor es más intenso que cuando estamos más lejos. Por lo tanto, estas personas han fallado en reconocer que no es este mismo fenómeno el responsable de producir las estaciones en La Tierra. Ellos están transfiriendo conocimiento de un contexto a otro, pero de forma incorrecta. Es común observar esto en muchos, muchos ejemplos de “errores de concepto” en todos los campos de estudio. La única solución al problema de superación de los errores de concepto es ayudar a los aprendices a aprender significativamente, y el uso de mapas conceptuales puede ser muy útil para esto. (Para más información sobre errores de concepto en ciencias y matemáticas ver Novak (2002), y: www.mlrg.org).

Bases Epistemológicas de los Mapas Conceptuales

Como se indicó anteriormente, definimos concepto como una *regularidad (o patrón) percibida en eventos u objetos, o registros de eventos u objetos, designados por una etiqueta*. Hoy día está comenzando a reconocerse que los procesos de aprendizaje significativo descritos anteriormente son los mismos procesos que utilizan científicos y matemáticos, o expertos en cualquier disciplina, para construir nuevo conocimiento. De hecho, Novak ha argumentado que la *creación de nuevo conocimiento* no es más que un nivel relativamente alto de aprendizaje significativo logrado por individuos que tienen una estructura de conocimiento bien organizada en un área en particular del conocimiento, y también un compromiso emocional fuerte de persistir en encontrar nuevos significados (Novak, 1977, 1993, 1998). La *Epistemología* es la rama de la filosofía que tiene que ver con la naturaleza del conocimiento y la creación de nuevo conocimiento. Existe una relación muy importante entre la psicología del aprendizaje, como la entendemos hoy, y el creciente consenso entre los filósofos y epistemólogos de que la creación de nuevo conocimiento es un proceso constructivo que involucra a tanto nuestro conocimiento como nuestras emociones o el deseo de crear nuevos significados y nuevas formas de representar

estos significados. Aprendices que se esfuerzan en crear buenos mapas conceptuales están ellos mismos comprometidos en un proceso creativo, y esto puede ser un reto, especialmente para aprendices que han pasado la mayor parte de su vida aprendiendo de forma memorística. El aprendizaje memorístico contribuye muy poco, en el mejor de los casos, a nuestras estructuras cognitivas, y por lo tanto no puede ser la base de pensamiento creativo o de soluciones originales a problemas.

Como se definió anteriormente, los conceptos y las proposiciones son los bloques para construir conocimiento en cualquier dominio. Podemos usar la analogía de que los conceptos son como los átomos de la materia y las proposiciones son como las moléculas de la materia. Existen solamente alrededor de 100 diferentes clases de átomos, y éstos forman un número infinito de diferentes clases de moléculas. Hay aproximadamente 460,000 palabras (la mayoría de las cuales son etiquetas de conceptos) en el idioma Inglés, y estas pueden ser combinadas para formar una infinidad de proposiciones. Aunque la mayoría de las combinaciones de palabras pueden no tener sentido, aún es posible crear un número infinito de proposiciones válidas. ¡Nunca debemos agotar las oportunidades de crear nuevo conocimiento! Conforme las personas crean y observan objetos o eventos, nuevos o ya existentes, las personas creativas continuarán creando nuevo conocimiento. Crear nuevos métodos de observar o registrar eventos usualmente abre nuevas oportunidades para creación de nuevo conocimiento. Por ejemplo, la creación del método de hacer mapas conceptuales para registrar la comprensión de una persona sobre un cierto tema ha llevado a nuevas oportunidades para estudiar el proceso de aprendizaje y de creación de nuevo conocimiento.

Aunque resulta valioso estudiar más extensivamente el proceso del aprendizaje humano y de creación humana de conocimiento, esto va más allá del alcance de este documento. Se invita al lector a leer algunas de las referencias citadas. Algunas consideraciones importantes para la construcción de mejores mapas conceptuales y la facilitación del aprendizaje serán discutidas más adelante.

Construyendo Buenos Mapas Conceptuales

Al aprender a construir mapas conceptuales, es importante comenzar con un área de conocimiento que le sea muy familiar a la persona que esta construyendo el mapa. Dado que las estructuras de los mapas conceptuales dependen del contexto en el cual serán utilizados, lo mejor es identificar un segmento de un texto, un experimento de laboratorio o actividad de campo, o un problema o pregunta en particular que uno está tratando de entender. Esto crea un *contexto* que ayudará a determinar la estructura jerárquica del mapa conceptual. También es útil seleccionar un área delimitada del conocimiento para los primeros mapas conceptuales.



Figura 6. Un mapa “lineal” creado por una estudiante de cuarto grado después de una excursión a una fábrica de papel. La clase identificó conceptos en el estacionamiento a la izquierda, pero esta estudiante no tuvo éxito en utilizar muchos de estos y su mapa tiene poco sentido. Esta estudiante era buena lectora oral, pero tenía muy pobre comprensión lectora y aprendía de forma memorística. (ver Novak & Gowin, 1984, página 108).

Una buena manera de definir el contexto para un mapa conceptual es formular una *Pregunta de Enfoque*, que es una pregunta que claramente especifica el problema o cuestión que el mapa conceptual tendrá que resolver. Todo mapa conceptual responde a una pregunta de enfoque, y una buena pregunta de enfoque puede llevar a un mapa conceptual mucho más rico. Cuando se aprende a construir mapas conceptuales, los aprendices tienden a desviarse de la pregunta de enfoque y a construir un mapa conceptual que puede estar relacionado al campo, pero que no responde la pregunta.

Habiendo seleccionado un dominio y formulado una pregunta o problema definido en este dominio, el siguiente paso es identificar los conceptos clave que se relacionan con este campo. Generalmente de 15 a 25 conceptos serán suficientes. Estos conceptos pueden ser listar, y a partir de esta lista establecer una lista ordenada desde el concepto más general, más inclusivo, para este problema o situación en particular, hasta el concepto más específico, menos general. Aunque esta lista puede ser solo una aproximación, ayuda a comenzar el proceso de construcción del mapa. Nos referimos a esta lista de conceptos como el *estacionamiento*, ya que incorporaremos estos conceptos al mapa conceptual a

medida que vayamos determinando dónde encajan. Algunos conceptos pueden permanecer en el estacionamiento a como se completa el mapa si el que está construyendo el mapa no ve una buena conexión entre éstos y otros conceptos del mapa

El siguiente paso es construir un mapa conceptual preliminar. Esto puede hacerse escribiendo todos los conceptos en hojitas Post-It, o preferiblemente usando el programa de software CmapTools del IHMC que se describe más adelante (Cañas *et al.*, 2004b, <http://cmap.ihmc.us>). Los Post-It le permiten a un grupo trabajar en una pizarra o papel de Manila y mover los conceptos fácilmente. Esto es necesario cuando uno comienza a esforzarse con el proceso de armar una buena organización jerárquica. Los programas de software son aún mejores ya que permiten mover los conceptos junto con las frases de enlace y mover grupos de conceptos y enlaces para reestructurar el mapa. Cuando se utiliza CmapTools junto con un proyector, dos o más individuos pueden colaborar fácilmente en la construcción de un mapa y ver los cambios según avanzan en su trabajo. CmapTools también permite la colaboración entre individuos en el mismo salón o en cualquier lugar del mundo, y los mapas pueden ser construidos sincrónicamente o asincrónicamente, dependiendo de los horarios de los que están haciendo el mapa.

Es importante reconocer que un mapa conceptual nunca está terminado. Después de que se construye un mapa preliminar, siempre es necesario re-trabajar este mapa. Otros conceptos pueden ser agregados. Los buenos mapas generalmente resultan a partir de tres o más revisiones. Esta es una de las razones por la que utilizar un programa de software es útil.

Después de que un mapa preliminar ha sido construido, se deben buscar los *enlaces cruzados*. Éstas son relaciones entre conceptos en diferentes segmentos o dominios de conocimiento en el mapa que ayudan a ilustrar cómo estos dominios están relacionados unos con otros. Los enlaces cruzados son clave en mostrar que el aprendiz entiende las relaciones entre los sub-dominios en el mapa.

Es importante ayudar a los estudiantes a darse cuenta de que todos los conceptos están de alguna forma relacionados entre sí. Por este motivo, es necesario ser selectivo al identificar enlaces cruzados, y ser lo más precisos posible en la identificación de palabras de enlace que conecten conceptos. Además, uno debe evitar “oraciones dentro de las cajas”, esto es, oraciones completas utilizadas como conceptos, ya que esto por lo general indica que una sub-sección entera del mapa puede ser construida a partir de la declaración en la caja. “Mapas lineales” ejemplifican ya sea un entendimiento pobre del material o una reestructuración inadecuada del mapa. La Figura 6 muestra un ejemplo de un mapa lineal.

Los estudiantes a menudo comentan que es difícil agregar palabras de enlace a las “líneas” de sus mapas conceptuales. Esto se debe a que ellos entienden poseen un entendimiento pobre de la relación entre los conceptos, o de los significados de los conceptos, y son las palabras de enlace las que especifican esta relación. Una vez que los estudiantes se empiezan a enfocar en buenas palabras de enlace, y en la identificación de buenos enlaces

cruzados, ellos podrán ver que todos los conceptos pueden estar relacionados con todos los demás conceptos. Esto también produce un poco de frustración, y deben elegir identificar los enlaces cruzados más prominentes y útiles. Este proceso involucra lo que Bloom (1956) identificó como niveles altos de desempeño cognitivo, a saber, evaluación y síntesis de conocimiento. Hacer mapas conceptuales es una buena forma de motivar niveles muy altos de desempeño cognitivo, cuando el proceso se hace bien. Esta es una razón por la que los mapas conceptuales pueden ser también una poderosa herramienta de evaluación (Edmondson, 2000).

Finalmente, el mapa debe ser revisado, los conceptos reacomodados de forma que aporten a una mayor claridad y mejor estructura global, y debe prepararse un mapa “final”. Cuando se utiliza un software, uno puede regresar, cambiar el tamaño y estilo de la fuente, y agregar colores para “vestir mejor” el mapa conceptual.

Así, vemos que los mapas conceptuales no solamente son una herramienta poderosa para capturar, representar, y archivar el conocimiento de individuos, sino también una poderosa herramienta para crear nuevo conocimiento.

El kit de herramientas del programa CmapTools

El programa CmapTools (Cañas *et al.*, 2004b) (disponible para descarga en: <http://cmap.ihmc.us>) desarrollado en el Instituto de Cognición Humana y de Máquinas combina las fortalezas de hacer mapas conceptuales con el poder de la tecnología, particularmente el Internet y la Web (WWW). El software no solo facilita a los usuarios de todas las edades el construir y modificar mapas conceptuales de una manera similar a la que un procesador de palabras facilita escribir un texto, sino que le permite a los usuarios colaborar a distancia en la construcción de sus mapas, publicar sus mapas conceptuales de manera que cualquier persona los pueda acceder a ellos en Internet, agregarle recursos a sus mapas para explicar más sus contenidos, y hacer búsquedas en la WWW de información relacionada al mapa.

El programa permite al usuario agregarle recursos (fotos, imágenes, gráficos, videos, esquemas, tablas, textos, páginas Web u otros mapas conceptuales), ubicados en cualquier parte de Internet, a conceptos o frases de enlace de un mapa conceptual por medio de una sencilla operación de arrastrar y soltar. Los enlaces a estos recursos se despliegan como íconos bajo los conceptos, como se muestra en la Figura 7. Hacer clic en uno de estos íconos desplegará una lista de vínculos de entre los cuales el usuario puede seleccionar para abrir el recurso agregado. Utilizando CmapTools, es posible usar mapas conceptuales para acceder a cualquier material en formato digital, incluyendo materiales preparados por la misma persona que está haciendo el mapa. De esta forma, los mapas conceptuales pueden servir como herramientas de indexación y navegación en dominios complejos del conocimiento, como se ilustrará más adelante con materiales de NASA sobre Marte (Briggs

et al., 2004). Al facilitarse los enlaces entre mapas conceptuales, los aprendices pueden construir *Modelos de Conocimiento* (Cañas et al., 2005; Cañas et al., 2003b), los cuales son colecciones de mapas conceptuales sobre un tema en particular con recursos ligados, demostrando así que su comprensión sobre un dominio no está limitado a solo un mapa conceptual.

Facilitando Aprendizaje Colaborativo y a Distancia

Existe un creciente cuerpo de investigación que muestra que cuando los estudiantes trabajan en grupos pequeños y cooperan al esforzarse en aprender una materia, esto da resultados positivos tanto en lo cognitivo como en lo (Johnson et al., 1981). Vygotsky (1978) introdujo la idea que el lenguaje y el diálogo social puede apoyar el aprendizaje, particularmente cuando los miembros del grupo social están aproximadamente en la misma Zona de Desarrollo Proximal (ZDP). Él describe la ZDP como aquel nivel de comprensión acerca de un cierto tema donde el aprendiz puede progresar por su cuenta, con mínima ayuda de un tutor. Cuando los estudiantes trabajan en forma cooperativa en grupos y usan mapas conceptuales para guiar su aprendizaje, ocurre un aprendizaje significativamente mayor (Preszler, 2004). En nuestro trabajo tanto con maestros como con estudiantes,

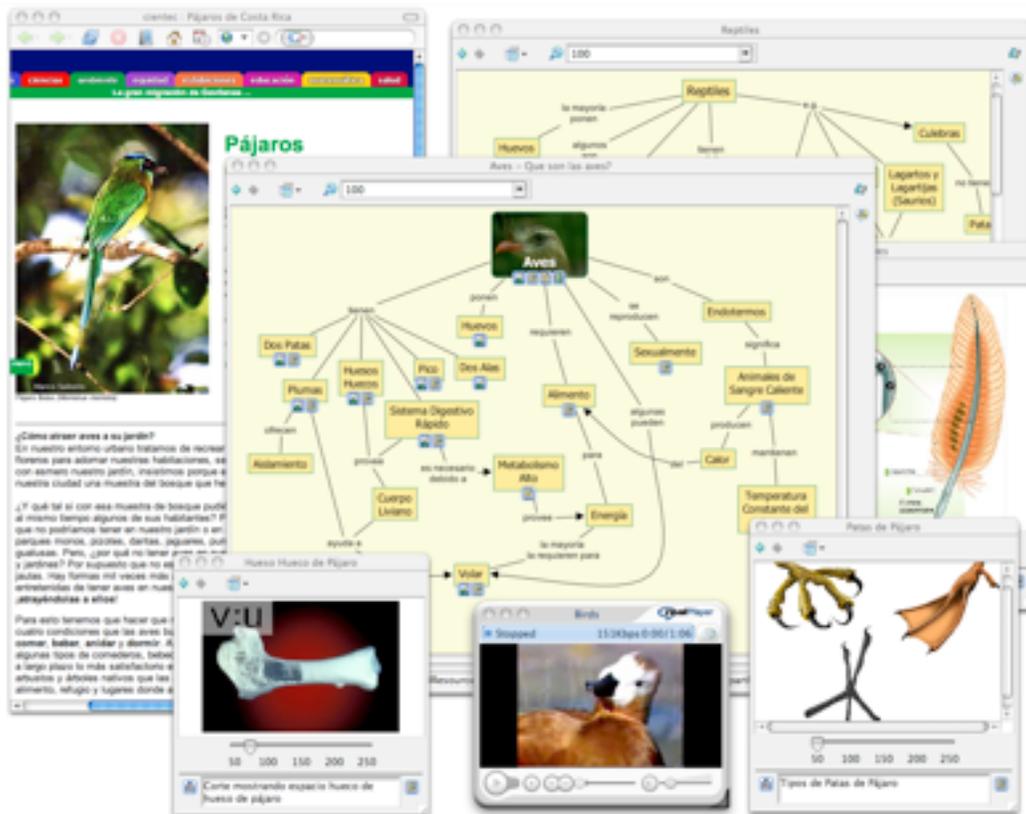


Figura 7. Un mapa conceptual sobre aves construido por un estudiante de secundaria. Los íconos bajo los conceptos brindan enlaces a recursos (por ejemplo, imágenes, fotos, páginas Web, videos, otros mapas conceptuales), algunos de los cuales se muestran en la Figura.

encontramos que pequeños grupos trabajando cooperativamente para construir mapas conceptuales han demostrado ser útiles en muchos contextos. A principios de los años 90, estudiantes de Latinoamérica, usando la Red de IBM (antes de Internet) tuvieron mucho éxito creando mapas conceptuales con estudiantes en sus aulas y con estudiantes en otros países (Cañas *et al.*, 2001). En nuestras propias clases y talleres, y en clases dictadas por nuestros estudiantes, pequeños grupos de estudiantes trabajando colectivamente para construir mapas conceptuales puede producir mapas notablemente buenos.

CmapTools brinda un apoyo extenso para el trabajo colaborativo durante la construcción de mapas conceptuales. Los mapas conceptuales construidos usando CmapTools pueden ser guardados en servidores (CmapServers, ver: Cañas *et al.*, 2003a) donde cualquier persona en Internet puede acceder a ellos. Muchos de los Servidores Cmap son “públicos”, permitiéndole a cualquiera (sin necesidad de autorización) publicar sus colecciones de mapas conceptuales y recursos (Cañas *et al.*, 2004a). A través de los Servidores Cmap, usuarios de todas las edades y disciplinas han publicado miles de mapas sobre todos los temas y dominios. Aún cuando los mapas conceptuales en estos servidores públicos son sólo una muestra de mapas conceptuales presentados por personas que utilizan CmapTools, y aunque algunos de ellos no reúnen nuestros criterios de buenos mapas conceptuales, sirven sin embargo para ilustrar diversas aplicaciones. Cuando un mapa conceptual se guarda en un Servidor Cmap, se almacena también una versión de “página Web” del mapa, de manera que basta un navegador de la Web para navegar a través de todos los mapas conceptuales publicados.

Cuando un mapa conceptual se guarda en un Servidor Cmap, también se guarda una versión del mapa en una página Web, de manera que un navegador es suficiente para recorrer todos los mapas publicados.

Por medio del almacenamiento de mapas conceptuales en Servidores Cmap, CmapTools promueve la colaboración entre usuarios construirán la construcción de mapas conceptuales. Cuando los mapas se almacenan en un servidor Internet, los usuarios con los permisos apropiados (Cañas *et al.*, 2003c) pueden editar y compartir mapas conceptuales al mismo tiempo (sincrónicamente) o a su conveniencia (asincrónicamente). Los “Hilos de discusión” y las “Anotaciones” en forma de notas electrónicas “Post-It” pueden usarse para hacer comentarios anecdóticos a mapas conceptuales o durante la construcción del mapa. El alto grado de explicitud de los mapas conceptuales los hace un vehículo ideal para el intercambio de ideas o para la construcción colaborativa de nuevo conocimiento. También hemos encontrado que los obstáculos que se derivan de inseguridades personales y miedo a hacer el ridículo se evitan en su mayor parte, ya que los comentarios críticos van dirigidos al mapa conceptual, no a la(s) persona(s) que está(n) construyendo el mapa. El que los aprendices comenten sobre los mapas de otros, ya sea que estén en la misma clase o en diferentes escuelas, es una forma efectiva de revisión por pares y de colaboración.

El extenso apoyo que CmapTools brinda para la construcción colaborativa de mapas conceptuales por grupos, estén en el mismo sitio o en localidades distantes, ha motivado el aumento en el uso de colaboración durante la construcción de mapas. Hacer mapas en pequeños grupos nos ha funcionado bien en diversos escenarios educativos, y en tareas tan variadas como la comprensión de ideas sobre la teoría de asimilación hasta la aclaración de conflictos en el trabajo para resolución de problemas en organizaciones lucrativas y no lucrativas (por ejemplo, Beirute & Mayorga, 2004). Los mapas conceptuales están ahora comenzando a utilizarse en corporaciones para ayudar a los equipos a aclarar y articular el conocimiento necesario para resolver problemas que van desde el diseño de nuevos productos hasta mercadeo hasta la resolución de problemas administrativos. Los mapas conceptuales están ahora comenzando a ser usados en corporaciones para ayudar a los equipos a aclarar y articular el conocimiento necesario para resolver problemas que van desde el diseño de nuevos productos para mercadear hasta resolución de problemas administrativos.

Un Nuevo Modelo para la Educación

Un Ambiente de Aprendizaje Centrado en Mapas Conceptuales

CmapTools provee una gama de características que hacen posible a los maestros usar mapas conceptuales en una multiplicidad de las tareas que los estudiantes realizan (Cañas & Novak, 2005). Además de un ambiente de red que promueve la colaboración y la posibilidad de construir modelos de conocimiento, el software permite a los usuarios, entre otras cosas, (a) buscar información basada en un mapa conceptual (Carvalho *et al.*, 2001), por lo que un estudiante puede usar el mapa conceptual para buscar información para aprender más sobre un tema, llevando a mejorar el mapa con recursos agregados, y a proceder de forma iterativa a otra búsqueda; (b) grabar el proceso de construcción del mapa conceptual para su posterior reproducción, brindando apoyo al maestro en lo que ese considera un aspecto clave de la elaboración de mapas conceptuales: el proceso de construcción del mapa; (c) desplegar por partes un mapa conceptual y los recursos asociados en pantalla completa para presentaciones orales; (d) comparar gráficamente dos mapas conceptuales, permitiéndole al maestro comparar el mapa del estudiante con el suyo para una evaluación inicial. De esta manera, el mapa conceptual puede convertirse en un artefacto alrededor del cual pueden centrarse las distintas actividades del proceso de aprendizaje, como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Toda la gama de actividades de aprendizaje que pueden integrarse utilizando CmapTools, incorporando varias actividades enlazadas a través del programa y creando un portafolio digital como producto del aprendizaje.

Basándose en las funcionalidades que ofrece CmapTools, el estudiante puede usar el mapa conceptual preparado como prueba diagnóstica como un paso inicial hacia aprender las partes del conocimiento que él o ella necesita para entender mejor, como base para realizar la investigación que le lleve a este entendimiento, como una forma de organizar las diferentes fuentes de las cuales el estudiante construirá este entendimiento, como el artefacto por medio del cual colaborar con sus compañeros, y como el medio para presentar sus hallazgos al final de la unidad de estudio. Más aún, los mapas conceptuales construidos por el estudiante pueden constituir la base para un portafolio de evaluación (ver Vitale & Romance, 2000) de su desempeño.

Pregunta de Enfoque, Estacionamientos y Mapas Esqueleto de Expertos

Un ambiente de aprendizaje basado en mapas conceptuales implica que los mapas conceptuales son usados a lo largo del desarrollo de una unidad de aprendizaje o módulo. Dentro de este ambiente, los mapas conceptuales probablemente serán usados como el mecanismo para determinar el nivel de entendimiento que los estudiantes tienen sobre el

tema que se va a estudiar antes de que el tema sea introducido. Luego, los mapas son desarrollados, extendidos y refinados a medida que los estudiantes desarrollan otras actividades sobre el tema y aumentan su entendimiento, concluyendo posiblemente con modelos de conocimiento complejos que enlazan recursos, resultados, experimentos, etc., y que pueden ser usados si se desea como una presentación final por los estudiantes.

Así como hay muchos usos posibles de los mapas conceptuales dentro de las actividades de aula, existe una variedad de “puntos de partida” para la construcción de los mapas conceptuales iniciales por los estudiantes.

Cada estudiante puede construir individualmente el mapa conceptual inicial, proporcionando el maestro retroalimentación acerca del nivel de entendimiento de cada estudiante. Dentro de la opción de construcción individual del mapa, se les puede permitir a los estudiantes colaborar a través de una Sopa de Conocimiento (Cañas *et al.*, 1995; Cañas *et al.*, 2001), donde los estudiantes pueden compartir proposiciones con otros pero no ver sus mapas (ver Figure 9). El mapa conceptual puede ser construido por estudiantes trabajando en parejas o en grupos pequeños, donde el maestro/a debe prestar atención al nivel de participación de cada estudiante.

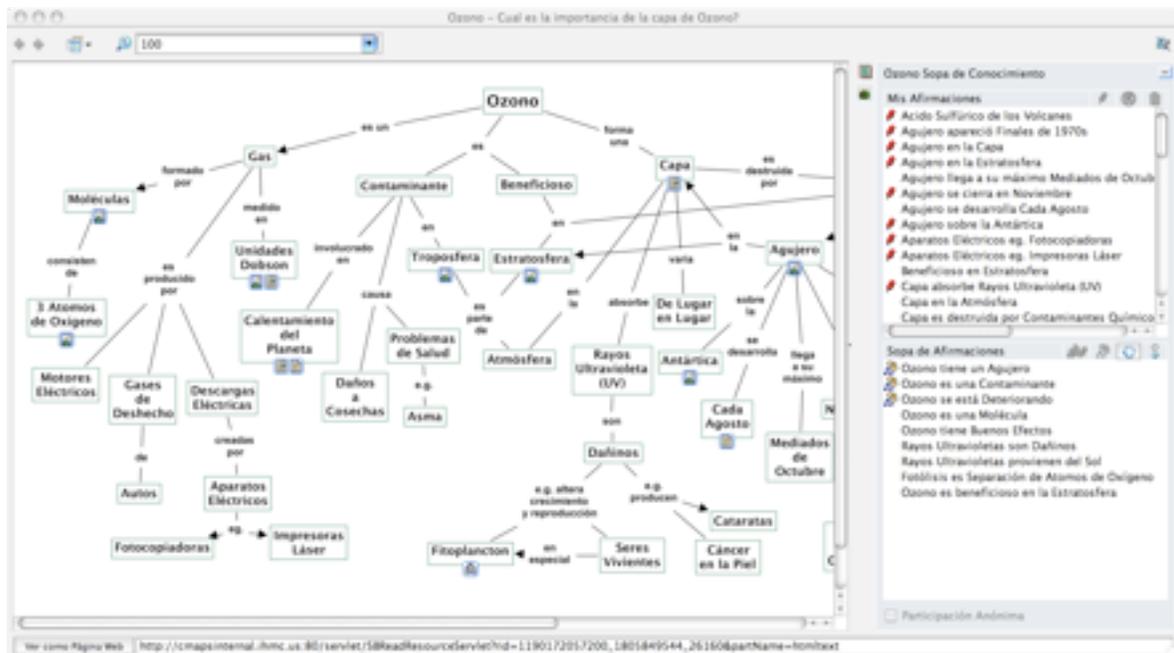


Figura 9. Un mapa conceptual que es parte de una Sopa de Conocimiento colaborativa. La lista de proposiciones en la ventana superior derecha se derivan automáticamente del Cmap, y las que presentan una “tachuela” son las que han sido “publicadas.” La ventana inferior derecha muestra proposiciones de otros participantes de la Sopa, algunas de las cuales tienen hilos de discusión en los que se cuestiona o comenta sobre la proposición.

El mapa conceptual puede ser también un esfuerzo grupal, donde todos los estudiantes dan su opinión y participan en la construcción del mapa, utilizando un proyector. Los(as) maestros (as) deben de estar alerta para evaluar la participación individual de cada estudiante.

De la misma forma, el punto de partida para la construcción del mapa puede variar dependiendo del entendimiento previo esperado de los estudiantes, la dificultad y novedad del tema, y la confianza del maestro(a) en dominar el tema.

Pregunta de Enfoque

El punto de partida para construir un mapa conceptual puede consistir de sólo la *pregunta de enfoque*. Por ejemplo, “puede dársele a los estudiantes una pregunta como ¿Cómo medimos el tiempo?”, y ésta deberá contestarse a través de la construcción del mapa conceptual.

El tipo de pregunta de enfoque hace una diferencia en el tipo de mapas conceptuales que el estudiante construye. Una pregunta como “¿Qué son las plantas?” llevará a un mapa conceptual declarativo, más clasificatorio que la pregunta “¿Por qué necesitamos las plantas?” Hay experimentos que demuestran que no sólo la pregunta de enfoque, sino que también el concepto raíz de un mapa conceptual tiene una fuerte influencia en la calidad del mapa conceptual que resulta (Derbentseva *et al.*, 2004, 2006). Es importante que se proporcione una pregunta y no solamente un tema (por ejemplo, “haga un mapa conceptual sobre las plantas”), ya que contestar la pregunta ayuda a los estudiantes a enfocarse en sus mapas. Siempre que se hace un mapa conceptual con CmapTools y luego se salva, se le pide al autor del mapa que escriba una pregunta de enfoque, e identifique conceptos clave para su mapa conceptual.

Estacionamiento

Por *estacionamiento* de conceptos queremos decir una lista de conceptos esperando ser agregados a un mapa conceptual. El punto de partida para la construcción de un mapa conceptual [también] puede ser una lista de conceptos que el maestro(a) quiere asegurarse que todos los estudiantes incluyan en su mapa. Un ejemplo de esto se mostró arriba en la Figura 6. La Figura 10 presenta la pregunta de enfoque “¿Cuál es la estructura del Universo?” y un estacionamiento para esta pregunta. Se espera que el estudiante, grupo de estudiantes, o la clase construya un mapa conceptual que conteste la pregunta y que incluya al menos los conceptos en la lista. Personas con experiencia en mapas conceptuales están de acuerdo con los investigadores en que el aspecto más retador y difícil en la construcción de un mapa conceptual es construir las proposiciones; esto es, determinar qué frases de enlace representarán más claramente la relación entre los conceptos. De manera que darle al estudiante los conceptos no le resta dificultad a la construcción del mapa, aunque podría de alguna manera limitar la creatividad del estudiante al seleccionar los conceptos que va a



Figura 10. El inicio de un mapa conceptual con una pregunta de enfoque y un estacionamiento con conceptos para incluir en el mapa.

incluir. Sí ayuda al maestro a formarse una idea de cuáles fueron los conceptos que el estudiante tuvo problemas para integrar al mapa conceptual, revelando poco o ningún entendimiento de estos conceptos.

Mapas Esqueleto Construidos por Expertos

Para temas difíciles – ya sea difíciles para los estudiantes según lo indica la experiencia previa del maestro(a), o difícil para el maestro debido a su formación – el usar un mapa conceptual esqueleto construido por un experto es una alternativa. Un mapa conceptual esqueleto es un mapa preparado previamente por un experto en el tema y que permite tanto a estudiantes como a docentes construir su conocimiento sobre una base sólida. Los mapas conceptuales esqueleto construidos por expertos sirven como una guía, andamio o ayuda

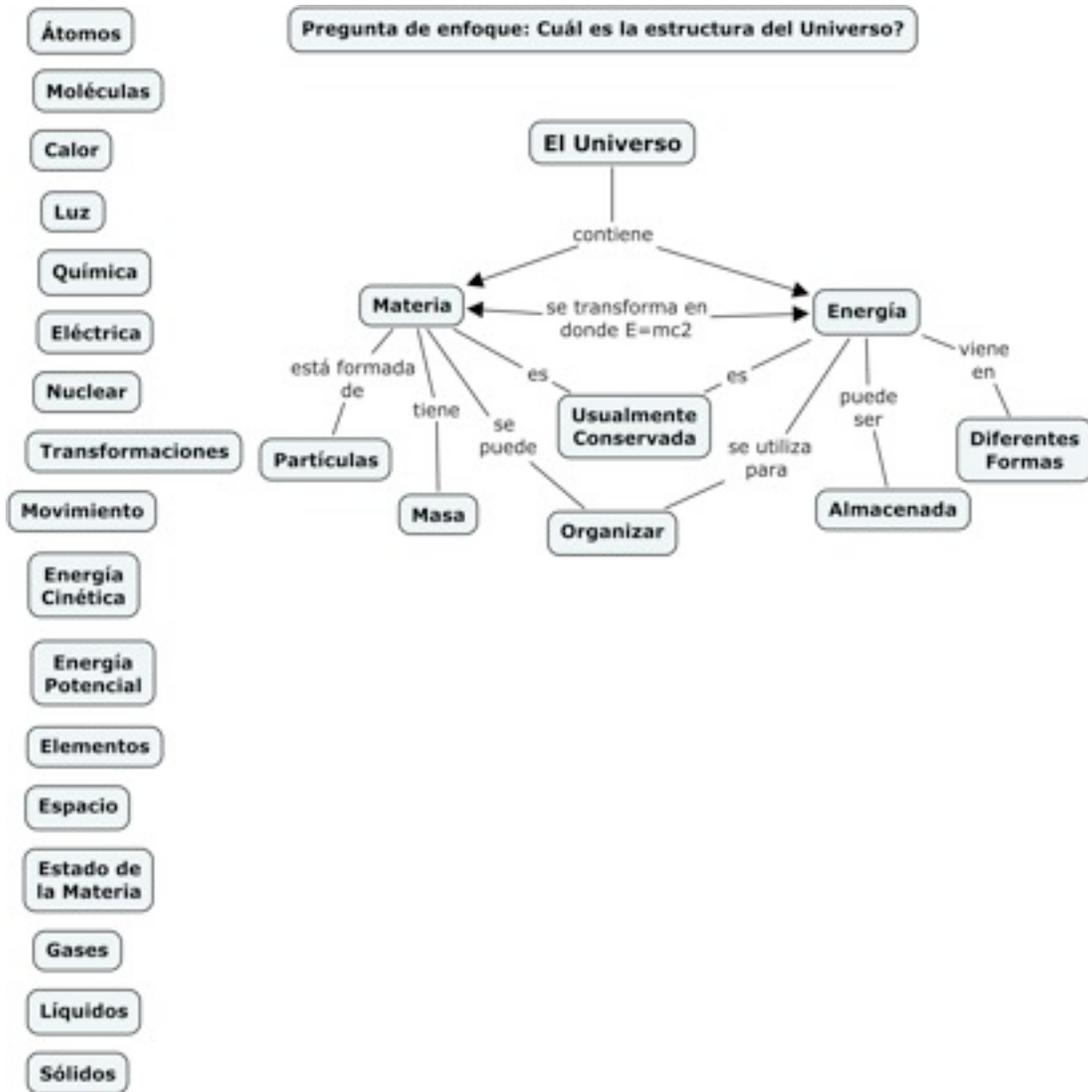


Figura 11. Un mapa conceptual esqueleto hecho por un experto que versa sobre un concepto clave que necesita ser comprendido como una base para aprender ciencias, basado en el estacionamiento de la Figura 10. Se dejaron algunos conceptos en el estacionamiento para que el estudiante los agregue al mapa conceptual.

para aprender, de manera análoga a al uso de andamios en la construcción o restauración de un edificio.

La Figura 11 es un mapa conceptual esqueleto hecho por un experto que corresponde al mismo tema que el “estacionamiento” de la Figura 10. Observe que en este ejemplo, algunos de los conceptos fueron dejados (por el experto) en el “estacionamiento” para que el estudiante los agregue al mapa conceptual.

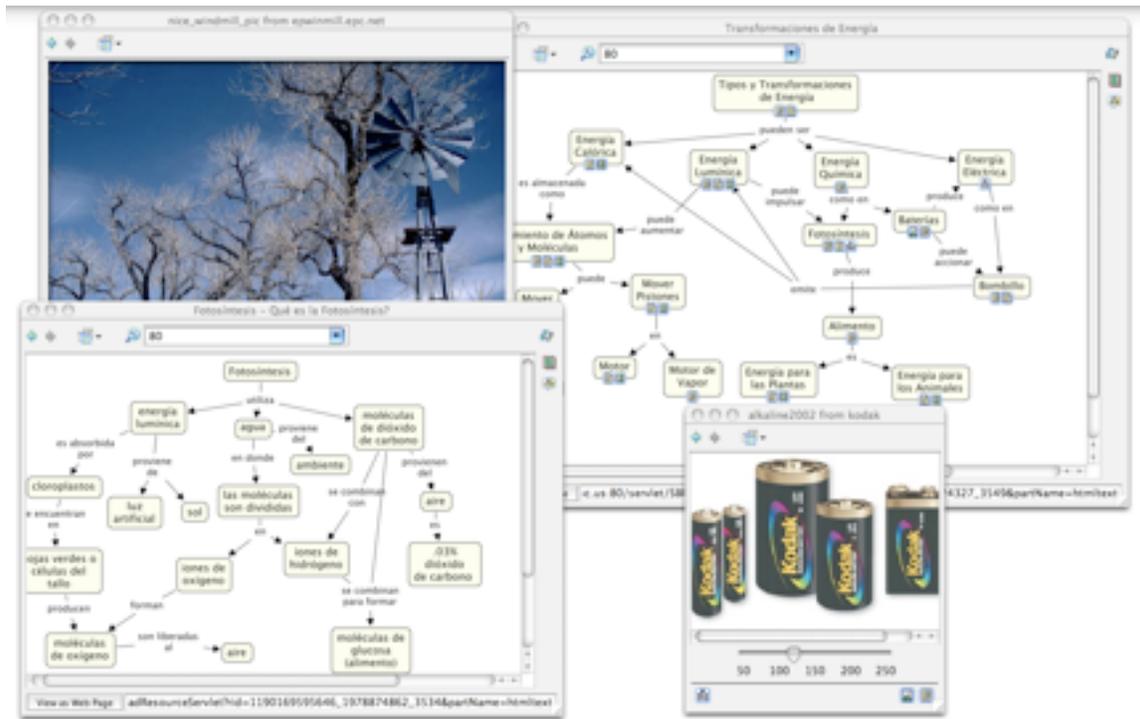


Figura 12. Un Cmap sobre transformación de energía al que se le podría llegar enlazándolo al concepto “Energía” en el mapa conceptual en la Figura 11, y un Cmap sobre Fotosíntesis que podría ser ligado a éste.

El uso de mapas conceptuales esqueleto realizados por expertos es una línea de investigación que estamos siguiendo actualmente, y para la cual no tenemos tanta experiencia como con los puntos de partida basados en preguntas de enfoque y estacionamientos. O’Donnell, Dansereau, & Hall (2002) han demostrado que los “mapas de conocimiento” pueden servir como andamios y facilitar el aprendizaje.

Es importante notar que los mapas esqueleto de expertos deben ser construidos por un experto en el tema. La idea es que el experto es el que mejor puede seleccionar un número pequeño de conceptos que son clave para entender el tema, y quien puede expresar con más exactitud las relaciones entre estos conceptos. En general, es mucho más difícil construir un mapa conceptual bueno y correcto sobre un tema con un número pequeño de conceptos (por ejemplo., cuatro o cinco) que con quince o veinte conceptos.

No hay un tamaño predeterminado que debe tener un mapa conceptual esqueleto. Pero el número final esperado de conceptos en el mapa es una función del número de conceptos en el “esqueleto”. Por ejemplo, un “mapa esqueleto” que consiste de cinco conceptos debe ser expandido por el estudiante a un mapa con 15 a 20 conceptos. Si el mapa “esqueleto” contiene 20 conceptos, lo cual lo hace más un mapa completo, se esperaría que el mapa

final contenga de 50 a 60 conceptos. En este caso, probablemente nos estamos refiriendo a usar un mapa relativamente completo como andamio (no un esqueleto), y se espera que los estudiantes profundicen en el tema creando varios submapas que estén ligados al mapa original.

Prevedemos un programa de usar “mapas esqueleto” como andamios en el aprendizaje con el desarrollo de una serie de mapas conceptuales en una disciplina, comenzando con las ideas más generales, más inclusivas y luego gradualmente dirigiéndose hacia mapas conceptuales conceptos más específicos que guiarán a los aprendices. Por ejemplo, la Figura 11 muestra un “mapa conceptual esqueleto” para ciencias que abarca los conceptos clave más importantes para entender ciencias. Los estudiantes pueden empezar con un mapa así, agregar conceptos del estacionamiento, enlazar recursos digitales y también construir submapas más específicos. También se pueden brindar mapas conceptuales expertos más específicos, como el que se muestra en la Figura 12. Aquí vemos también un submapa que puede ser creado por un grupo de estudiantes, y una muestra de dos recursos a los que se les puede llegar por medio de íconos del submapa.

Una de las ventajas de usar CmapTools para apoyar el aprendizaje es la función de búsqueda mencionada anteriormente, la cual permite acceso a recursos de la Web que han sido filtrados para ajustarse al contexto de significados definidos por el mapa conceptual (Carvalho *et al.*, 2001; Leake *et al.*, 2004). De manera que si uno selecciona un concepto como “energía eléctrica” en la Figura 12 y elige una de las opciones de “búsqueda” del menú, CmapTools extraerá recursos de la Web que no solo tratan de electricidad, sino que también se relacionan a otros conceptos presentes en el mapa. El programa trata de descubrir de qué se trata el mapa conceptual y prepara una interrogación (o “query”) para motores de búsqueda de la Web que generarán resultados que son relevantes a las ideas que están siendo desarrolladas en el mapa conceptual. Por supuesto, el aprendiz todavía necesita seleccionar nuevos conceptos del material y construir nuevas proposiciones en el mapa conceptual que añadan significado y claridad al mapa. Así, el aprendiz o equipo de aprendices está muy *activamente compenetrado* en el proceso de construcción de significados, un requerimiento esencial para que ocurra aprendizaje significativo.

Los aprendices pueden también involucrarse en estudios de laboratorio o de campo que agregarán experiencias concretas importantes necesarias para desarrollar significados más completos de conceptos, y algunas veces el entusiasmo que viene con el descubrimiento de nuevas ideas o relaciones.

La extensión de los materiales e ideas que pueden ser incorporados en estructuras de conocimiento utilizando “mapas conceptuales esqueleto,” CmapTools, y recursos de la Web sobrepasan por mucho lo que cualquier libro de texto o cualquier docente podría proporcionar. De hecho, los maestros que supervisan este tipo de estudio probablemente aprendan tantas cosas nuevas como sus estudiantes. Más aún, partiendo desde el “mapa esqueleto” hecho por un experto se reduce la posibilidad de que los errores de concepto o

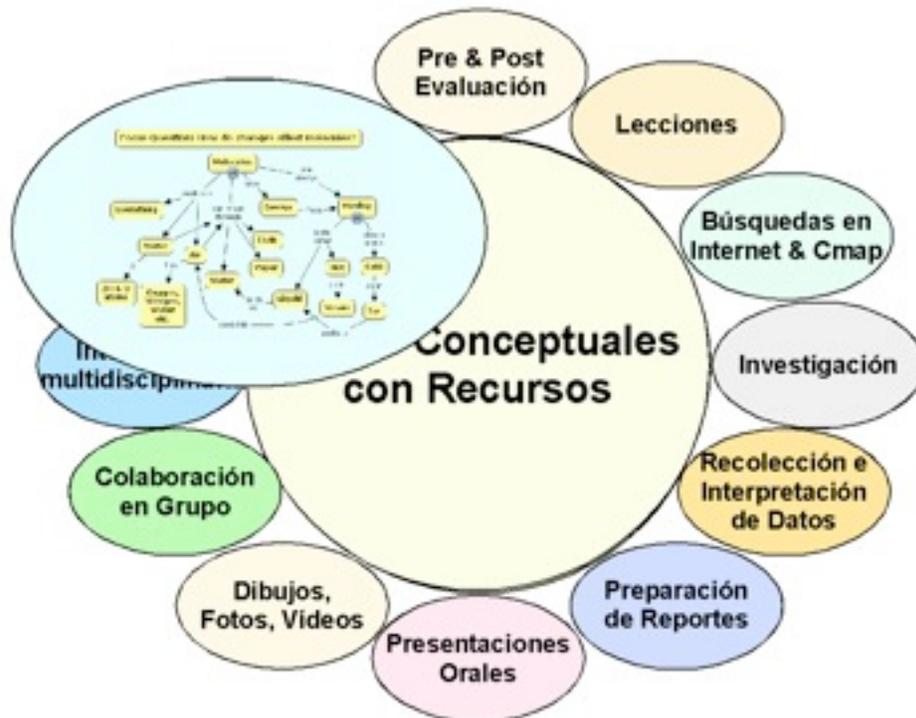


Figura 13. Esquema que muestra el Nuevo Modelo para Educación con un “mapa conceptual esqueleto” hecho por un experto que puede servir como “columna vertebral” para un portafolio emergente en ciencias.

ideas equivocadas que mantienen aprendices o docentes sean reforzadas, y maximiza la posibilidad de que construyan estructuras de conocimiento que con el tiempo eliminen o disminuyan los errores de concepto (Novak, 2002).

Proyecto El Mundo de la Ciencia

En 1966, Bobbs-Merrill publicó la serie de libros de texto para primaria *El Mundo de la Ciencia (The World of Science)*, escrito en gran parte por Novak con el objeto de introducir conceptos básicos de ciencias a maestros y estudiantes de escuelas primarias. A diferencia de la mayoría de los libros de texto de ciencias de escuelas primarias, esta serie presenta instrucción profunda en conceptos básicos en todos los niveles, incluyendo instrucción en conceptos que relacionados con la naturaleza de ciencias, naturaleza de la materia, energía y transformaciones de la energía. Los libros han sido escaneados y está disponible un DVD de todos los seis libros. Nuestro plan es usar los libros *El Mundo de la Ciencia* como un punto de partida para un proyecto de demostración para Un Nuevo Modelo para la Educación. Para empezar, se han preparado “mapas conceptuales esqueleto” por expertos para algunas secciones del libro de segundo grado y para todo el libro de cuarto grado de la serie titulado *Expandiendo el Mundo de la Ciencia*. Todos estos mapas conceptuales están

públicamente disponibles en la Red de CmapTools³. Los “mapas conceptuales esqueleto” servirían como punto de partida para estudiantes y profesores para cada sección ilustrada en el libro, y luego los estudiantes usarían estos mapas conceptuales junto con CmapTools para buscar en la Web recursos e ideas pertinentes. La Figura 13 ilustra uno de estos “mapas conceptuales esqueleto” que podría ser usado como el punto de partida para construir un modelo de conocimiento, preferiblemente con estudiantes trabajando en equipos y compartiendo ideas.

Los libros de ciencias brindan lecturas relevantes y actividades sugeridas. Sería importante que el maestro ayudara a los estudiantes a realizar estas actividades, y actividades similares relacionadas, algunas de las cuales podrían ser sugeridas en los recursos de la Web. Los aprendices también agregarían sus propios conceptos al “mapa conceptual esqueleto,” lo mismo que recursos identificados en lecturas y de Internet. La Figura 14 ilustra una etapa en este proceso⁴.

Obviamente, un programa de ciencias que sólo requiriera a estudiantes copiar y construir un poco sobre los “mapas conceptuales esqueleto” del experto provistos para segundo grado, o cualquier otro grado, sería un programa sumamente deficiente. Los estudiantes

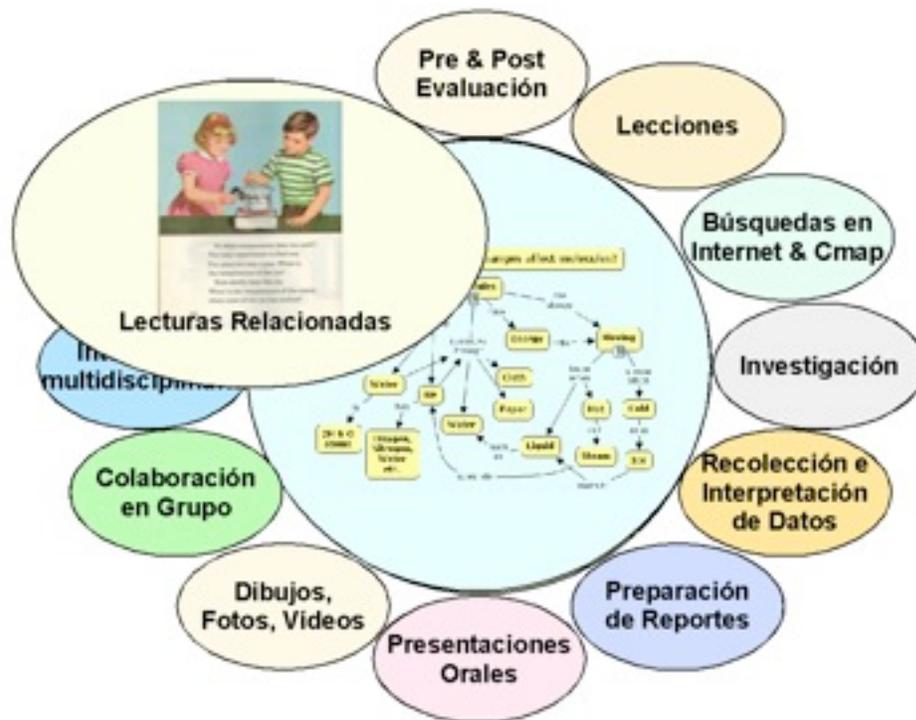


Figura 14. Esquema mostrando el Nuevo Modelo para Educación con conceptos y recursos agregados a “mapas conceptuales esqueleto” hechos por un experto, además de una página del libro El Mundo de la Ciencia brindando lecturas y actividades relevantes.

necesitan experiencias concretas, manipular cosas reales y observar fenómenos reales para poner significado dentro de las etiquetas de los conceptos provistos en los mapas conceptuales y otros recursos.

En Italia está ya en progreso un programa piloto, donde Giuseppe Valittuti (2004) y sus colegas están ahora trabajando en traducir los libros El Mundo de la Ciencia al italiano. Valittuti y sus colegas han obtenido financiamiento del Ministerio de Educación de Italia para la capacitación de docentes y esperan que varios de equipos de escuelas primarias comiencen a trabajar con los mapas conceptuales del El Mundo de la Ciencia y otros recursos durante el año de 2005-2006. El plan es tener cuatro juegos de escuelas enfocadas en diferentes aspectos de la serie El Mundo de la Ciencia y producir fotos y videos de estudiantes haciendo proyectos que ilustren y utilicen los diferentes conceptos de ciencia. Habrá mucha retroalimentación de las aulas ayudando a equipos a refinar su trabajo, compartiendo “portafolios electrónicos” utilizando CmapTools. Esta retroalimentación debería ayudarnos a refinar rápidamente los mapas conceptuales, las técnicas y las propuestas para mejorar la práctica del Nuevo Modelo para Educación. La red CmapTools puede servir como centro de distribución de algunos de estos esfuerzos a través de sus servidores Públicos en Italia y otros países. Anticipamos que una abundancia de datos tanto anecdóticos como empíricos fluirá a partir de estos esfuerzos en unos pocos años. Basados en sólidos descubrimientos teóricos sólidos y otros relacionados disponibles en la actualidad, existen muchos motivos para estar optimistas de que estos esfuerzos innovadores serán exitosos. El progreso de este proyecto puede ser seguido en: www.leparoleedellascienza.it.

Problemas de Implementación

El mayor reto que podemos esperar es cambiar las condiciones en las escuelas donde impera el modelo del maestro como diseminador de información hacia un nuevo modelo del maestro como guía y aprendiz. Sabemos que necesitamos comprometer a maestros y administradores en programas de capacitación que puedan modelar los nuevos acercamientos educativos, y que necesitamos buscar su consejo en cuanto a cómo mejorar el Nuevo Modelo para la Educación. Está también el reto de cambiar las prácticas de evaluación que ahora dependen principalmente de pruebas de escogencia múltiple que miden sobre todo aprendizaje memorístico, a pruebas basadas en el desempeño que requieren que los estudiantes demuestren que entienden conceptos básicos y pueden aplicar estos conceptos en la resolución de problemas novedosos, y que pueden utilizar los recursos de Internet para ampliar y modificar sus conceptos y aprender conceptos nuevos. En el Nuevo Modelo queda suficiente espacio para la adquisición de datos y procedimientos específicos, pero ahora estos deberán ser aprendidos dentro del contexto de marcos conceptuales poderosos. La investigación (Bransford *et al.*, 1999) ha demostrado que la información sobre hechos, cuando se adquiere en un contexto de aprendizaje

significativo, no sólo es retenida por más tiempo, sino que esta información puede ser usada mucho más exitosamente para resolver nuevos problemas.

Se necesita de un enorme trabajo de educación docente antes de que el Nuevo Modelo pueda ser implementado en las escuelas. Los educadores necesitan familiarizarse con el uso del software CmapTools y las diferentes herramientas que el programa contiene. También necesitan aprender sobre la teoría subyacente a los mapas conceptuales, incluyendo las ideas presentadas en este artículo. Los programas para educación de maestros deben modelar el tipo de aprendizaje que estamos recomendando, y podríamos usar como “mapas conceptuales esqueleto” hechos por un experto algunos de los mapas conceptuales disponibles del libro de Novak’s (1998) y al que se puede acceder a través del servidor de CmapTools “IHMC Internal”, bajo la carpeta “JoeNovak’s/JNsLCUBook”. Los educadores deben trabajar colaborativamente para seguir construyendo sobre algunos de los mapas conceptuales más simples relacionados con ideas sobre educación y quizás agregar recursos a algunos de los mapas conceptuales más complejos. Incluso con el estado actual de entendimiento tecnológico y pedagógico, es posible que escuelas, estados o países, logren montar un Nuevo Modelo para la Educación.

Mapas Conceptuales para Evaluación

Hoy día estamos comenzando a ver que muchos libros de texto de ciencias incluyen el hacer mapas conceptuales como una forma de resumir lo que entendieron los estudiantes después de haber estudiado una unidad o capítulo. El cambio en las prácticas escolares siempre es lento, pero es probable que el uso de mapas conceptuales en la enseñanza en las escuelas aumentará sustancialmente en las próximas dos décadas. Existen otras prácticas innovadoras para evaluar la comprensión de los estudiantes sobre determinado tema (Mintzes *et al.*, 2000). Cuando los mapas conceptuales se usan para la enseñanza, también pueden usarse para la evaluación. No hay nada escrito en piedra que diga que las pruebas de escogencia múltiple deban ser usadas desde escuela primaria hasta la universidad, y tal vez con el tiempo incluso las pruebas nacionales utilizarán mapas conceptuales como una herramienta poderosa de evaluación. Se trata del problema de la gallina y el huevo porque los mapas conceptuales no pueden ser requeridos en las pruebas nacionales si a la mayoría de los estudiantes no se les han dado oportunidades de aprender a usar esta herramienta de representación del conocimiento. Por otro lado, si las pruebas estatales, regionales, y nacionales empezaran a incluir mapas conceptuales como un segmento del examen, habría un gran incentivo para que los maestros le enseñasen a los estudiantes cómo usar esta herramienta. Tenemos la esperanza de que en las próximas dos décadas esto llegará a ocurrir. Actualmente hay numerosos de proyectos en los Estados Unidos y en otros lugares que realizan investigación para ver si se pueden desarrollarse mejores herramientas de evaluación, incluyendo el uso de mapas conceptuales. Deberíamos empezar a ver avances significativos en esta área en los próximos años.

Algunas características de las últimas versiones de CmapTools también facilitan el uso de mapas conceptuales para la evaluación. Por ejemplo, la herramienta para “Comparar mapas conceptuales” permite la comparación de un mapa conceptual “experto” de un tema con mapas construidos por estudiantes, y todos los conceptos similares o diferentes se realzan en color.

Mapas Conceptuales y Planeación de Currículo

Los mapas conceptuales pueden ser enormemente útiles en el planeamiento curricular. Ellos presentan de una forma sumamente concisa los conceptos y principios claves a ser enseñados. La organización jerárquica de los mapas conceptuales sugiere una mejor secuenciación de los contenidos. Puesto que la característica fundamental del aprendizaje significativo es la integración de nuevo conocimiento con las estructuras conceptuales y proposicionales del aprendiz, partir de los conceptos más generales, más inclusivos hacia la información más específica generalmente sirve para motivar e intensificar el aprendizaje significativo. Así, en el planeamiento curricular, necesitamos construir un “macro mapa” global que muestre las ideas principales que planeamos presentar en el curso completo, o en el currículo completo, y también “micro-mapas” más específicos para mostrar la estructura de conocimiento para un segmento muy específico del programa de instrucción. El profesorado, trabajando de forma independiente o en colaboración, puede rediseñar el programa de estudio de un curso o un currículo completo. Por ejemplo, el mapa conceptual que se muestra en la Figura 15 fue elaborado por profesores que trabajaron de manera conjunta en el planeamiento del currículo de medicina veterinaria de la Universidad de Cornell.

Utilizar mapas conceptuales en la planeación de un currículo o de una clase sobre un tema específico ayuda a hacer la enseñanza “conceptualmente transparente” para los estudiantes. Muchos estudiantes tienen dificultad identificando los conceptos importantes en un texto, de una ponencia o de cualquier otro tipo de presentación. Parte del problema surge de un patrón de aprendizaje que requiere simplemente memorización de información, y no se requiere evaluación de la información. Tales estudiantes no logran construir estructuras conceptuales y proposicionales fuertes, lo que les lleva a ver el aprendizaje como una miríada borrosa de hechos, fechas, nombres, ecuaciones, o reglas procedimentales a ser memorizados. Para estos estudiantes, los temas de estudio de la mayoría de las disciplinas, y especialmente de ciencias, matemática, e historia, es una cacofonía de información para memorizar, y usualmente lo encuentran aburrido. Muchos sienten que no pueden dominar el conocimiento del campo. Si los mapas conceptuales se usaran para planear las clases y los estudiantes tuvieran que construir mapas conceptuales a medida que van aprendiendo, estudiantes que anteriormente no tuvieron éxito pueden tener éxito en encontrarle sentido a la ciencia y a cualquier otra disciplina, adquiriendo así una sensación de control sobre el tema (Bascones & Novak, 1985; Novak, 1991, 1998).

La mayoría de los métodos utilizados previo a los mapas conceptuales consistían de varias formas de entrevistas y análisis con expertos, incluyendo estudios de casos de cómo los expertos alcanzaron algún logro excepcional (Hoffman *et al.*, 1995; Klein & Hoffman, 1992). De hecho, estos métodos continúan siendo muy populares con muchos científicos cognitivos, la mayoría de los cuales no están familiarizados con el trabajo de Ausubel y el tipo de ideas epistemológicas en las que se basan los mapas conceptuales. Nosotros también utilizamos “entrevistas clínicas” en nuestro trabajo inicial, como lo mencionamos anteriormente, pero encontramos que era necesario inventar una mejor manera de representar lo que nuestros aprendices sabían y cómo su conocimiento iba cambiando a través del tiempo. En el IHMC, comenzamos a utilizar entrevistas para identificar el conocimiento de expertos necesario para interpretar imágenes computarizadas generadas por un aparato diseñado para evaluar problemas en el funcionamiento cardíaco, después de la inyección de un bolo de solución radioactiva, y para diagnosticar disfunción coronaria (Ford *et al.*, 1991; Ford *et al.*, 1996). Sin embargo, cuando comenzamos a representar en un mapa conceptual el conocimiento experto de un cardiólogo quien prácticamente podría decirse “escribió el libro” sobre esta tecnología, se volvió evidente que faltaban conceptos en el mapa y que el “conocimiento tácito” de nuestro experto no había sido expresado en su totalidad ni en su libro ni en nuestras entrevistas. Por tanto, el mapa conceptual no sólo nos permitió representar el conocimiento del experto, sino también detectar huecos en la estructura de conocimiento que estábamos procurando a través de entrevistas.

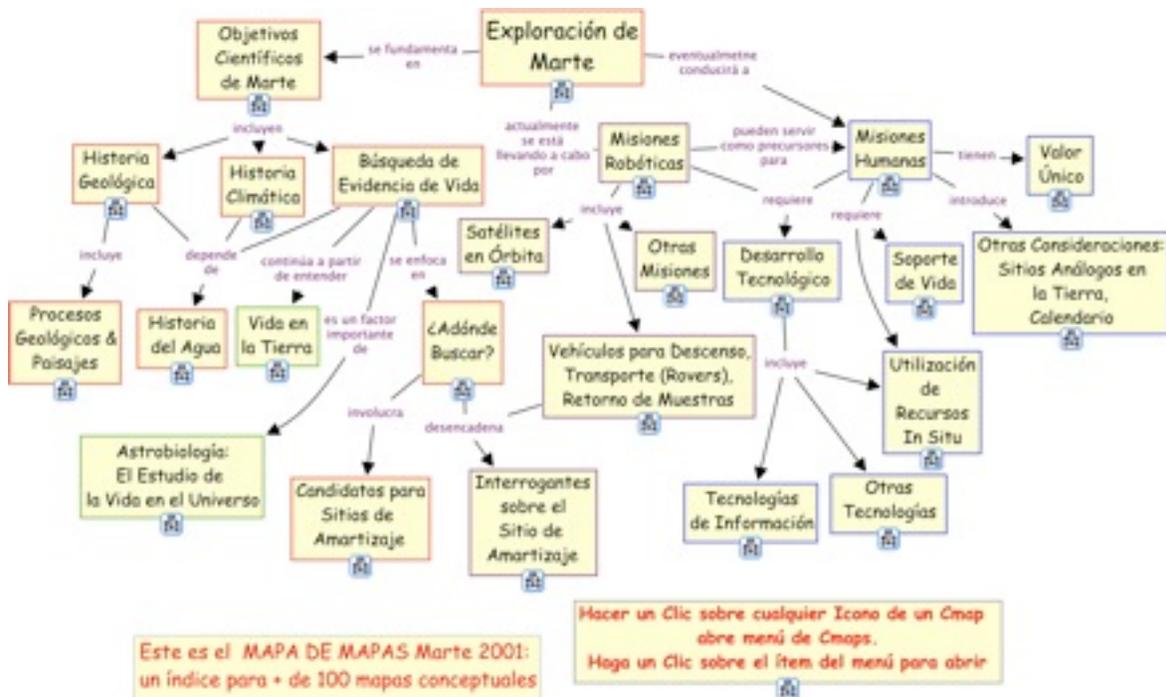


Figura 16. El mapa conceptual principal para el modelo de conocimiento sobre la Exploración de Marte creado por la NASA.

Aunque esperamos que las entrevistas, análisis de estudios de casos, análisis de “incidentes críticos” y técnicas similares tendrán valor en extraer y representar el conocimiento experto, es probable que el producto final de estos estudios quede mejor representado en forma de mapas conceptuales, quizás con algunos datos de la entrevista y otras informaciones presentadas mediante íconos en los mapas.

En el IHMC continuamos muy activos en el área de captura y representación del conocimiento de expertos (Coffey *et al.*, 2002). A medida que ha evolucionado el software CmapTools, se ha vuelto una herramienta cada vez más útil para este trabajo, como se ilustra con los impresionantes recursos sobre Marte preparados en el Centro Ames de Exploración de Marte de la NASA (Briggs *et al.*, 2004). La Figura 16 muestra el mapa principal del modelo de conocimiento creado por Briggs y la Figura 17 muestra uno de los muchos submapas que él creó. La totalidad del conjunto de mapas puede verse en <http://cmex.ihmc.us>. Además de los submapas, puede llegársele a una gran variedad de recursos digitales a través de estos mapas conceptuales. Muchos otros proyectos están representados en el servidor IHMC Public accesible a través de CmapTools, incluyendo proyectos que tienen que ver con el pronóstico del tiempo (Hoffman *et al.*, 2000, ver: <http://www.ihmc.us/research/projects/StormLK/>), técnicos en electrónica (Coffey *et al.*, 2003), y Textiles artesanales Tailandeses.

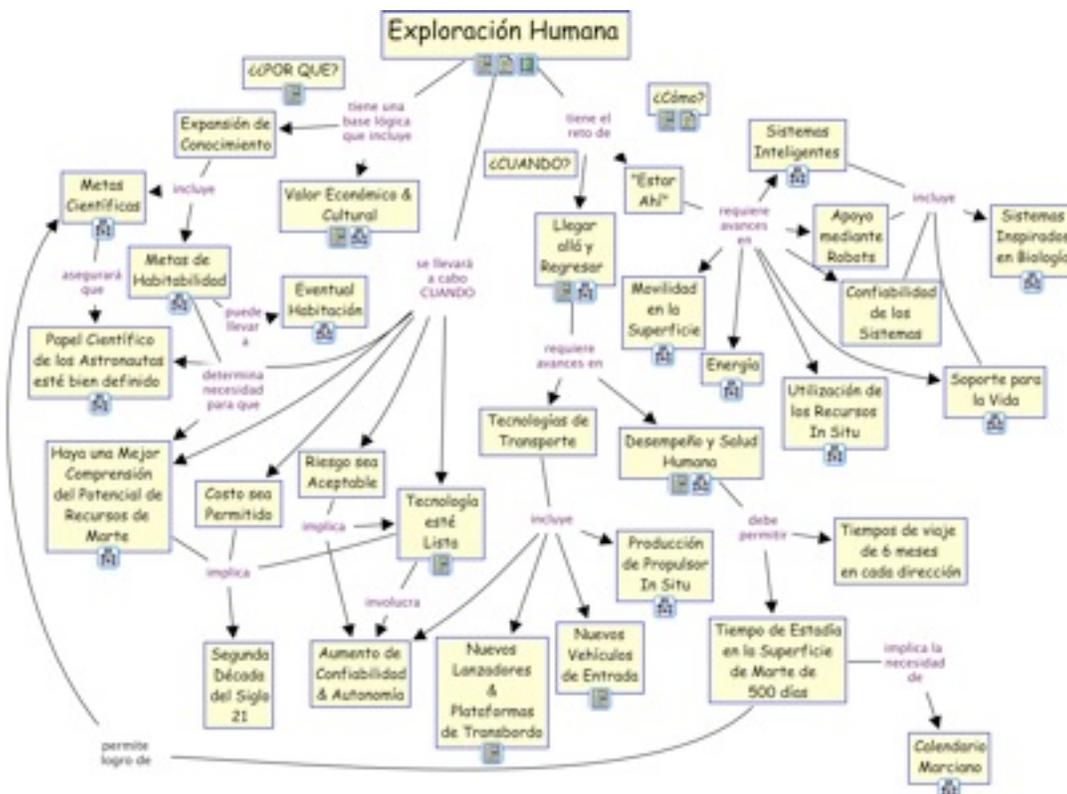


Figura 17. Un ejemplo de un mapa conceptual al que se puede acceder tecleando en uno de los recursos agregados a un concepto del mapa de la Figura 16.

Conclusiones

En este artículo hemos tratado de presentar las bases teóricas y los orígenes de lo que llamamos *mapas conceptuales*. Aunque que a primera vista los mapas conceptuales parecen ser sólo otra forma de representación gráfica de información, el entender las bases para esta herramienta y su uso apropiado llevará al usuario a ver que es una herramienta verdaderamente profunda y poderosa. Al principio puede parecer como un arreglo simple de palabras dentro de una jerarquía, pero cuando se tiene cuidado en organizar los conceptos representados por palabras, y las proposiciones o ideas son formadas con palabras de enlace bien escogidas, uno comienza a darse cuenta que un buen mapa conceptual es a la vez simple, pero también elegantemente complejo con significados profundos. Se ha demostrado que hacer mapas conceptuales ayuda a estudiantes a aprender, a investigadores a crear nuevo conocimiento, a administradores a estructurar y administrar mejor las organizaciones, a escritores a escribir, y a evaluadores a evaluar aprendizaje. Como con cualquier herramienta, también puede ser mal usada, y hemos ilustrado algunos ejemplos de esto.

También deseamos utilizar este documento como base para más experimentación, crítica y diálogo respecto al uso de esta herramienta. El sitio Web de CmapTools brinda oportunidades para intercambios animados entre los usuarios e investigadores. Este mismo documento debe ser un documento “vivo,” objeto de revisiones periódicas conforme obtengamos nuevos conocimientos y experiencias con el uso de esta herramienta. Invitamos a todos los usuarios de mapas conceptuales y de CmapTools a participar en este diálogo.

Bibliografía

- Anderson, O. R. (1992). Some interrelationships between constructivist models of learning and current neurobiological theory, with implications for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 19(10), 1037-1058.
- Ausubel, D. P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: Grune and Stratton.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: A cognitive view* (2nd ed.). New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Bascones, J., & Novak, J. D. (1985). Alternative instructional systems and the development of problem solving skills in physics. *European Journal of Science Education*, 7(3), 253-261.

- Beirute, L., & Mayorga, L. F. (2004). Los mapas conceptuales herramienta poderosa en la resolución alternativa de conflictos. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. M. González (Eds.), *Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the 1st international conference on concept mapping* (Vol. I). Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives; the classification of educational goals* (1st ed.). New York: Longmans Green.
- Bransford, J., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Eds.). (1999). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Briggs, G., Shamma, D. A., Cañas, A. J., Carff, R., Scargle, J., & Novak, J. D. (2004). Concept maps applied to Mars exploration public outreach. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. González (Eds.), *Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping* (Vol. I, pp. 109-116). Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.
- Cañas, A. J., Carff, R., Hill, G., Carvalho, M., Arguedas, M., Eskridge, T., et al. (2005). Concept maps: Integrating knowledge and information visualization. In S.-O. Tergan & T. Keller (Eds.), *Knowledge and information visualization: Searching for synergies* (pp. 205-219). Heidelberg/NY: Springer Lecture Notes in Computer Science.
- Cañas, A. J., Ford, K. M., Brennan, J., Reichherzer, T., & Hayes, P. (1995). *Knowledge construction and sharing in quorum*. Paper presented at the Seventh World Conference on Artificial Intelligence in Education, Washington DC.
- Cañas, A. J., Ford, K. M., Novak, J. D., Hayes, P., Reichherzer, T., & Suri, N. (2001). Online concept maps: Enhancing collaborative learning by using technology with concept maps. *The Science Teacher*, 68(4), 49-51.
- Cañas, A. J., Hill, G., Carff, R., Suri, N., Lott, J., Arroyo, M., et al. (2004a). CmapTools: Una rete per modellizzare e condividere la conoscenza. In A. Spaziante (Ed.), *La conoscenza come bene pubblico comune: Software, dati, saperi* (pp. 51-62). Torino: CIS-Piemonte.
- Cañas, A. J., Hill, G., Carff, R., Suri, N., Lott, J., Eskridge, T., et al. (2004b). CmapTools: A knowledge modeling and sharing environment. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. M. González (Eds.), *Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping* (Vol. I, pp. 125-133). Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.
- Cañas, A. J., Hill, G., Granados, A., Pérez, C., & Pérez, J. D. (2003a). *The network architecture of CmapTools* (Technical Report No. IHMC CmapTools 2003-01). Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition.
- Cañas, A. J., Hill, G., & Lott, J. (2003b). *Support for constructing knowledge models in CmapTools* (Technical Report No. IHMC CmapTools 2003-02). Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition.
- Cañas, A. J., Hill, G., Lott, J., & Suri, N. (2003c). *Permissions and access control in CmapTools* (Technical Report No. IHMC CmapTools 2003-03). Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition.

- Cañas, A. J., & Novak, J. D. (2005). *A concept map-centered learning environment*. Paper presented at the Symposium at the 11th Biennial Conference of the European Association for Research in Learning and Instruction (EARLI), Cyprus.
- Carvalho, M. R., Hewett, R., & Cañas, A. J. (2001). Enhancing web searches from concept map-based knowledge models. In N. Callaos, F. G. Tinetti, J. M. Champarnaud & J. K. Lee (Eds.), *Proceedings of SCI 2001: Fifth multiconference on systems, cybernetics and informatics* (pp. 69-73). Orlando, FL: International Institute of Informatics and Systemics.
- Coffey, J. W., Cañas, A. J., Reichherzer, T., Hill, G., Suri, N., Carff, R., *et al.* (2003). Knowledge modeling and the creation of el-tech: A performance support system for electronic technicians. *Expert Systems with Applications*, 25(4), 483-492.
- Coffey, J. W., Hoffman, R. R., Cañas, A. J., & Ford, K. M. (2002). A concept-map based knowledge modeling approach to expert knowledge sharing. In M. Boumedine (Ed.), *Proceedings of IKS 2002 - the IASTED international conference on information and knowledge sharing* (pp. 212-217). Calgary, Canada: Acta Press.
- Derbentseva, N., Safayeni, F., & Cañas, A. J. (2004). Experiments on the effect of map structure and concept quantification during concept map construction. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. M. González (Eds.), *Concept maps: Theory, methodology, technology, proceedings of the first international conference on concept mapping*. Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.
- Derbentseva, N., Safayeni, F., & Cañas, A. J. (2006). Concept maps: Experiments on dynamic thinking. *to appear, Journal of Research in Science Teaching*.
- Edmondson, K. (2000). Assessing science understanding through concept maps. In J. Mintzes, J. Wandersee & J. Novak (Eds.), *Assessing science understanding* (pp. 19-40). San Diego: Academic Press.
- Edwards, J., & Fraser, K. (1983). Concept maps as reflections of conceptual understanding. *Research in Science Education*, 13, 19-26.
- Ford, K. M., Cañas, A. J., Jones, J., Stahl, H., Novak, J. D., & Adams-Webber, J. (1991). Iconkat: An integrated constructivist knowledge acquisition tool. *Knowledge Acquisition*, 3, 215-236.
- Ford, K. M., Coffey, J. W., Cañas, A. J., Andrews, E. J., & Turner, C. W. (1996). Diagnosis and explanation by a nuclear cardiology expert system. *International Journal of Expert Systems*, 9, 499-506.
- Hoffman, B. (1962). *The tyranny of testing*. New York: Corwell-Collier.
- Hoffman, R. R., Coffey, J. W., & Ford, K. M. (2000). *A case study in the research paradigm of human-centered computing: Local expertise in weather forecasting. Report on the contract "Human-centered system prototype"*. Washington, DC: National Technology Alliance.
- Hoffman, R. R., Shadbolt, N. R., Buton, A. M., & Klein, G. (1995). Eliciting knowledge from experts: A methodological analysis. *Organizational Behavior and Human Design Processes*, 62(2), 129-158.
- Holden, C. (1992). Study flunks science and math tests. *Science Education*, 26, 541.

- Johnson, D., Maruyama, G., Johnson, R., Nelson, D., & Skon, L. (1981). The effects of cooperative, competitive and individualistic goal structure on achievement: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 89, 47-62.
- Keller, E. F. (1983). *A feeling for the organism : The life and work of Barbara McClintock*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Klein, G., & Hoffman, R. R. (1992). Seeing the invisible: Perceptual-cognitive aspects of expertise. In M. Robinowitz (Ed.), *Cognitive science foundations of instruction* (pp. 203-226). Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Leake, D. B., Maguitman, A., Reichherzer, T., Cañas, A. J., Carvalho, M., Arguedas, M., et al. (2004). Googling from a concept map: Towards automatic concept-map-based query formation. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. M. González (Eds.), *Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping* (Vol. I, pp. 409-416). Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.
- Macnamara, J. (1982). *Names for things: A study of human learning*. Cambridge, MA: M.I.T. Press.
- Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (1998). *Teaching science for understanding: A human constructivist view*. San Diego: Academic Press.
- Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (2000). *Assessing science understanding: A human constructivist view*. San Diego: Academic Press.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York: Oxford University Press.
- Novak, J. D. (1977). *A theory of education*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Novak, J. D. (1990). Concept maps and vee diagrams: Two metacognitive tools for science and mathematics education. *Instructional Science*, 19, 29-52.
- Novak, J. D. (1991). Clarify with concept maps: A tool for students and teachers alike. *The Science Teacher*, 58, 45-49.
- Novak, J. D. (1993). Human constructivism: A unification of psychological and epistemological phenomena in meaning making. *International Journal of Personal Construct Psychology*, 6, 167-193.
- Novak, J. D. (1998). *Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Novak, J. D. (2002). Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or appropriate propositional hierarchies (liphs) leading to empowerment of learners. *Science Education*, 86(4), 548-571.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Novak, J. D., & Musonda, D. (1991). A twelve-year longitudinal study of science concept learning. *American Educational Research Journal*, 28(1), 117-153.
- Novak, J. D., & Wandersee, J. (1991). Coeditors, special issue on concept mapping. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10).

- O'Donnell, A., Dansereau, D., & Hall, R. H. (2002). Knowledge maps as scaffolds for cognitive processing. *Educational Psychology Review, 14*, 71-86.
- Preszler, R. W. (2004). Cooperative concept mapping improves performance in biology. *Journal of College Science Teaching, 33*, 30-35.
- Schneps, M. (1989). *Private universe project*: Harvard University.
- Valittuti, G. (2004). Personal communication.
- Vitale, M. R., & Romance, N. R. (2000). Portfolios in science assessment: A knowledge-based model for classroom practice. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee & J. D. Novak (Eds.), *Assessing science understanding: A human constructivist view*. San Diego, CA: Academic Press.
- Vygotsky, L., & Cole, M. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.