

Construyendo sobre Nuevas Ideas Constructivistas y la Herramienta CmapTools para Crear un Nuevo Modelo Educativo¹

Joseph D. Novak & Alberto J. Cañas
Institute for Human and Machine Cognition
www.ihmc.us

Resumen. Existe hoy casi un acuerdo universal de que cada estudiante debe construir su propia estructura de conocimiento, o estructura cognitiva, a través de sus propios esfuerzos. El compromiso de construir una estructura de conocimiento poderosa debe ser el compromiso del estudiante. Existe un reconocimiento menos universal de que las estructuras de conocimiento están construidas principalmente a través de *aprendizaje significativo*, y por contraste, el aprendizaje memorístico o simplemente memorizar información contribuye muy poco a construir la estructura de conocimiento de una persona. Nosotros creemos que la teoría cognitiva del aprendizaje de Ausubel (1963; 2000) brinda una fuerte base en la cual se puede mejorar la enseñanza y el aprendizaje. Buscamos ilustrar esto a través de esfuerzos que emplean epistemología constructivista y psicología cognitiva constructivista, junto con el uso de Internet y CmapTools, una herramienta de software para ayudar en la construcción de mapas conceptuales. CmapTools puede servir como la base para un nuevo tipo de integración de recursos de Internet y de todas las experiencias de clase, laboratorio y de campo; y cuando es usado con mapas conceptuales “esqueleto” desarrollados por expertos para formar andamios de aprendizaje, puede servir como la base para un Nuevo Modelo Educativo.

Abstract. There is today almost universal agreement that every learner must construct her/his own knowledge structure, or cognitive structure, through her/his own efforts. The commitment to building a powerful knowledge structure must be the learner's commitment. There is less universal recognition that knowledge structures are built primarily through *meaningful learning*, and by contrast, rote learning or simply memorizing information contributes little to building a person's knowledge structure. We believe that Ausubel's cognitive learning theory (Ausubel, 1963, 2000) provides a strong foundation on which to improve teaching and learning. We shall seek to illustrate this through efforts that employ constructivist epistemology and constructivist cognitive psychology, together with the use of the Internet and CmapTools, a software toolkit to aid in the construction of concept maps. CmapTools can serve as the foundation for a new kind of integration of Internet resources and all classroom, laboratory, and field experiences, and when used with “expert skeletal” concept maps to scaffold learning, they provide for a New Model for Education.

1 Introducción

Los mapas Conceptuales han demostrado ser una herramienta eficiente para fomentar el aprendizaje (Novak & Gowin, 1984) en todas las facetas de educación y entrenamiento, incluyendo –y no pretendemos proveer una lista exhaustiva- evaluación, determinar el conocimiento previo del estudiante, resumir lo que se ha aprendido, toma de notas, ayuda en el estudio, planificar, formar andamios para el entendimiento, consolidar experiencias educativas, mejorar condiciones efectivas para el aprendizaje, enseñar pensamiento crítico, apoyar la cooperación y colaboración, y organizar contenido (Cañas & Badilla, 2005; Coffey et al., 2003). Estamos concientes que las *nuevas* tecnologías han fallado en mostrar resultados ante la falsa expectativa de ser la “solución” para los problemas en educación, sin embargo, proponemos que el uso de la tecnología apropiada y basada en buenas teorías puede aumentar los beneficios del uso de mapas conceptuales en educación y llevar a una mejora dramática de la educación.

En este trabajo primero exploramos el poder de CmapTools y cómo este pueden apoyar en la construcción de mapas conceptuales y a la integración de toda una gama de experiencias de aprendizaje, y luego discutimos como estas herramientas e ideas nuevas pueden llevar a un Nuevo Modelo Educativo.

2 El Poder de CmapTools

Durante los últimos catorce años, el Florida Institute for Human and Machine Cognition (IHMC) ha estado desarrollando CmapTools (Cañas *et al.*, 2004), un ambiente de software cliente-servidor que facilita la construcción y el compartir mapas conceptuales. El software es usado extensivamente a través del mundo por personas de todas las edades y para una gran variedad de aplicaciones. Describir la funcionalidad completa del programa está fuera del

¹ Una versión anterior de este artículo fue presentada como Novak & Cañas (2004). Basado en parte en trabajos anteriores: Novak (2003), Novak (2004b), y Novak (2004a).

Novak y Gowin (1984, Capítulo 2) han descrito el acto de construir mapas como una actividad creativa, en la cual el estudiante debe hacer un esfuerzo para aclarar significados por medio de identificar los conceptos importantes, relaciones, y estructura dentro de un dominio específico de conocimiento. La creación de conocimiento requiere un nivel alto de *aprendizaje significativo*, y los mapas conceptuales facilitan el proceso de creación de conocimiento para los individuos y estudiantes en una disciplina (Novak, 1993). Los educadores han reconocido que lo importante es el *proceso de construcción* de un mapa conceptual, no solamente el resultado (mapa) final. Sin embargo, en muchos casos el maestro no puede acompañar al alumno durante el proceso de construcción de los mapas conceptuales, ya sea porque hay muchos estudiantes, el estudiante está haciendo el trabajo en su casa, o el aprendizaje es a distancia. CmapTools brinda la posibilidad de “grabar” el proceso de construcción del mapa conceptual, permitiendo reproducir gráficamente los pasos de construcción más tarde, controlando la velocidad y moviéndolo hacia adelante o hacia atrás a como se necesite. La Figura 1 muestra a la derecha el panel que le permite al usuario controlar la grabación. En este ejemplo, el estudiante ha tomado 78 pasos para alcanzar este punto en la construcción del mapa, y al presionar el botón de retroceder se empezará a mostrar paso a paso el proceso completo de la construcción del mapa. La grabación es guardada con el mapa conceptual, de manera que si se copia o se transfiere la grabación no se pierde. La reproducción también identifica cuál usuario llevó a cabo cada paso, lo cual es esencial para apoyar el trabajo colaborativo. De hecho, la reproducción de los mapas conceptuales creados por un individuo revela los procesos mediante los cuales el aprendizaje significativo estaba ocurriendo.

A pesar del formato de estilo libre que los mapas conceptuales pueden tomar, las características específicas de mapas conceptuales bien construidos (estructura, semántica, contexto, etc.) brindan una abundancia de información sobre la cual desarrollar herramientas inteligentes que ayuden al usuario en el proceso de la construcción de mapas conceptuales (Cañas & Carvalho, 2004). Una de estas herramientas permite al usuario seleccionar un concepto en el mapa y, basada en el contexto del mapa conceptual en sí, hacer una búsqueda en Internet y en Sitios (CmapServers) por información (incluyendo mapas conceptuales) que están relacionados a los conceptos seleccionados (Carvalho, Hewett, & Cañas, 2001). El programa trata de determinar “de qué se trata el mapa” y lleva a cabo la consulta correspondiente. El estudio o investigación de un tema se puede empezar construyendo un mapa pequeño y usando la búsqueda para localizar información relacionada al mapa. La información obtenida puede entonces usarse para mejorar el mapa, y el ciclo continúa de forma iterativa. Al ligarse recursos relevantes encontrados al mapa en sí, el mapa conceptual se vuelve el centro del esfuerzo de la investigación. La Figura 2 muestra como muchas de las actividades en el aprendizaje pueden estar integradas a través de la estructura de un mapa conceptual construido con CmapTools.



Figura 2. Todo el espectro de las actividades de aprendizaje pueden estar integradas usando CmapTools creando un portafolio digital como producto del aprendizaje.

El programa contiene otras características que apoyan al usuario, ya sea un estudiante, maestro o instructor, en el uso de los mapas conceptuales en un ambiente educativo, tal como un módulo de comparación de mapas y generación automática de una versión HTML del mapa conceptual cuando se guarda en un Sitio y un módulo para presentar un mapa por secciones en modo de “pantalla completa”. Para el propósito de apoyar las ideas presentadas en este trabajo, consideramos que la combinación de las herramientas de colaboración, las características de construcción del modelo de conocimiento, y los mecanismos de búsqueda brindan una fuerte base sobre la cual construir las ideas de andamiaje basadas en mapas de “expertos” en el Nuevo Modelo Educativo descrito en las secciones siguientes.

3 Uso de Mapas Conceptuales “Esqueleto” Desarrollados por Expertos como “Andamios” en el Aprendizaje de Estudiante y Maestro

Scardamalia y Bereitere (1993) han descrito cómo los estudiantes y otros aprendices pueden usar tecnología para ayudar a construir su conocimiento, y nosotros creemos que CmapTools extiende grandemente esta capacidad.

Durante los últimos 20 años de enseñar por parte del primer autor en Cornell University impartió un curso llamado “Aprendiendo a Aprender”. El libro, *Aprendiendo a Aprender* (Novak & Gowin, 1984), se derivó en gran parte de las experiencias enseñando ese curso. Una de las técnicas que Novak encontró más útiles para los estudiantes fue la de preparar mapas conceptuales mostrando ideas clave y sus relaciones. Estos no fueron mapas completos, sólo los conceptos clave. Se les pedía a los estudiantes agregar conceptos a los mapas del profesor y reestructurar el mapa de la manera que tuviera más sentido para ellos. Los exámenes en este curso típicamente brindaban a los estudiantes una lista de 20-25 conceptos, y se les pedía construir un mapa conceptual usando estos conceptos y conceptos adicionales que ellos quisieran agregar. Se les pedía también a los estudiantes seleccionar un “compañero de aprendizaje”, ya que investigaciones importantes apoyan el valor del aprendizaje cooperativo (Qin, Johnson, & Johnson, 1995). En términos de los horarios de los estudiantes no era práctico formar grupos de aprendizaje mayores de dos, sin embargo algunas veces los estudiantes tomaron la iniciativa de reunirse en grupos de 4-6, por lo general formando 2-3 equipos de aprendizaje. Las evaluaciones del curso comentaron repetidamente sobre el valor del arreglo del compañero de aprendizaje, y de hecho unas cuantas de éstas llevaron más adelante al matrimonio de los compañeros de aprendizaje. Ejemplos del tipo de mapa conceptual que fueron usados con los estudiantes pueden verse en la Red de CmapTools².

Las experiencias de Novak en el uso de mapas conceptuales para ayudar a guiar el aprendizaje de los estudiantes fueron altamente positivas. Ellas fueron apoyadas por las ideas de Vygotsky (1978) sobre la importancia de intercambios sociales en el aprendizaje. Otra idea que fue apoyada es el concepto de Vygotsky de “Zona de Desarrollo Próximo” (ZPD). Los estudios de Vygotsky mostraron que hay un nivel de desarrollo cognitivo que permiten al aprendiz avanzar en el entendimiento de un dominio dado de conocimiento sin instrucción, y un nivel más alto de entendimiento más allá del cual el aprendiz no puede avanzar sin ayuda. El llamó a este ámbito de entendimiento la Zona de Desarrollo Proximo. Una ventaja de enfoques de aprendizaje cooperativo es que los estudiantes tienden a estar casi en la misma ZPD, por lo tanto ellos pueden comunicar mejor las ideas entre ellos, y cuando son ayudados por mapas conceptuales “esqueleto” hechos por expertos, ellos pueden progresar aún más. En general, la literatura sobre cómo ayudar a estudiantes muestra que el uso de enfoques variados facilitan el aprendizaje significativo (Bransford, Brown, & Cocking, 1999). Dado el rango extraordinario de las actividades de aprendizaje que se pueden ahora facilitar e integrar usando CmapTools, creemos que incluso una mayor ventaja de las ideas de Vygotsky e ideas de la literatura sobre ayudar a enseñar pueden ser incorporadas en la enseñanza.

Nuestros planes son comenzar a desarrollar mapas conceptuales “esqueleto” hechos por expertos en el área de ciencias, ya que la ciencia es universal y es también un tema pobremente enseñado, especialmente a nivel de escuela primaria. Puede decirse lo mismo de matemáticas, y esta puede ser la segunda área a ser desarrollada. Estimamos que el proyecto requeriría unos 300 mapas conceptuales de expertos para brindar una cobertura razonable de todas las áreas de ciencias de primero a 12 grado, o edades de 6 a 18. Hay muchos científicos que ya han preparado mapas conceptuales para distintas disciplinas, por lo tanto estos podrían ser un punto de inicio, sin embargo muchos de los mapas podrían necesitar algunas revisiones para calzar mejor con el proyecto. También, necesitaremos preparar algunos mapas conceptuales “globales” para dar una visión conceptual general amplia de la ciencia o subdominios. La Figura 3 es un ejemplo de uno de estos mapas conceptuales “globales”. La Figura 4 muestra un mapa conceptual que trata del tipo de transformación de energía que nosotros llamamos fotosíntesis, y puede representar un submapa para la Figura 3.

² Sitio: IHMC Public Cmaps (2), Carpeta: JDN's LCKKnowledge.

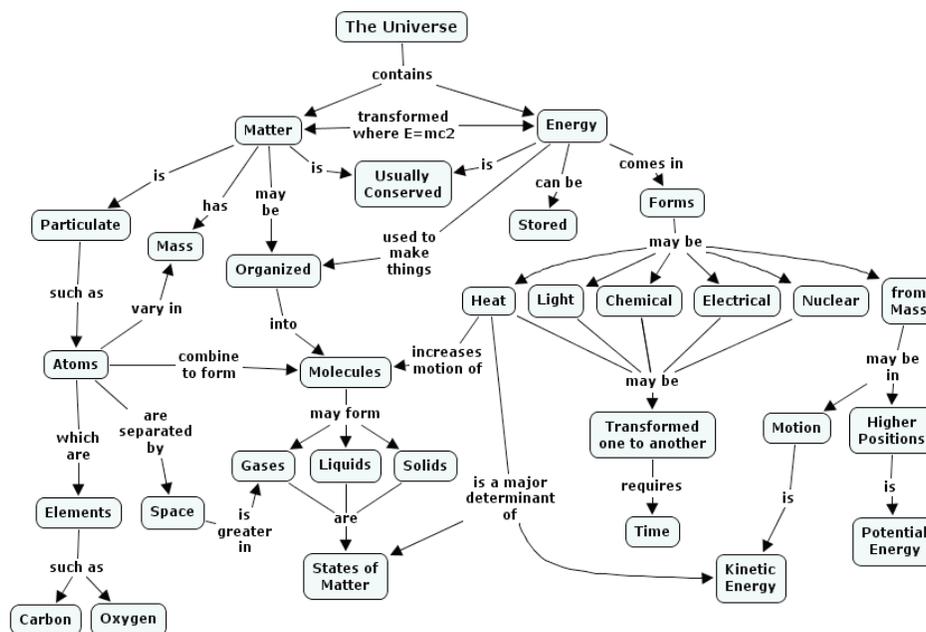


Figura 3. Un mapa conceptual “global” presentando los mapas conceptuales más importantes necesarios para entender la mayoría de las áreas de ciencias.

Pérez et al. (2000) reportan el uso de mapas conceptuales como andamio en el aprendizaje de física de estudiantes de universidad y colegio por más de una década. A pesar de que sus estudiantes no usaron software de computadora, su retroalimentación indica un mejor entendimiento de los conceptos de física con el uso de mapas conceptuales. Ellos ahora se están dirigiendo hacia sacar un mayor provecho con el uso de CmapTools y tecnología (Pérez et al.,2004). O'Donnell, Dansereau, & Hall (2002) reportan un estudio donde un tipo de mapas conceptuales fue usado satisfactoriamente para el aprendizaje basado en andamios. Un número de profesores de otras escuelas y universidades han reportado el uso de enfoques basados en andamios con mapas conceptuales, pero muy pocos datos empíricos están disponibles en este momento. Por lo tanto, procedemos con este enfoque con el apoyo de las ideas teóricas sobre las cuales está fundamentado, y apoyo empírico indirecto como el que se puede encontrar en algunas de nuestra investigaciones (Bascones & Novak, 1985; Novak & Musonda, 1991). El estudio de Bascones y Novak mostró una mejora de aproximadamente el 100% en los resultados de solución de problemas en estudiantes de física usando mapas conceptuales, comparado con estudiantes haciendo ejercicios tradicionales. El estudio de Novak y Musonda demostró que los estudiantes a los que se les enseñó con métodos tutoriales de audio en primero y segundo grado lograron una mejora del 100% o más en el entendimiento de los conceptos de cinética molecular cuando se comparó durante doce años escolares con estudiantes que no recibieron esta instrucción de ciencias temprana. El estudio anterior ilustra en parte que la instrucción tecnológicamente mediada puede ser muy efectiva. Los dos estudios y otras investigaciones similares muestra el gran potencial mejoramiento de la enseñanza y el aprendizaje. Ningún estudio ha observado el mejoramiento del aprendizaje que puede obtenerse al aplicarse lo mejor de la tecnología y lo mejor de la pedagogía durante el período de 12 años de escuela, pero los estudios que existen sugieren que tal aumento en el aprendizaje puede acercarse a un orden de magnitud mayor que el que se observa ahora comúnmente.

Una ventaja importante de organizar la instrucción comenzando con un mapa conceptual de experto es que los estudiantes y los maestros casi siempre tienen conocimientos errados o errores de concepto virtualmente en todo campo de conocimiento que ha sido estudiado. La investigación también ha demostrado que estos errores de concepto son notoriamente difíciles de sobreponer con instrucción tradicional (Novak, 1977, 2002). El uso de mapas conceptuales ha demostrado ser efectivo para remediar los errores de concepto, especialmente cuando los aprendices comienzan con un mapa conceptual “experto” y cuando ellos trabajan colaborativamente en construir un nuevo modelo de conocimiento. Nosotros estamos actualmente trabajando con un número de organizaciones que están construyendo sobre lo que conocemos acerca de aprender, crear y uso de conocimiento (Novak, 1998), y desarrollo juegos de mapas conceptuales de expertos para entrenamiento de nuevos trabajadores y otros propósitos.

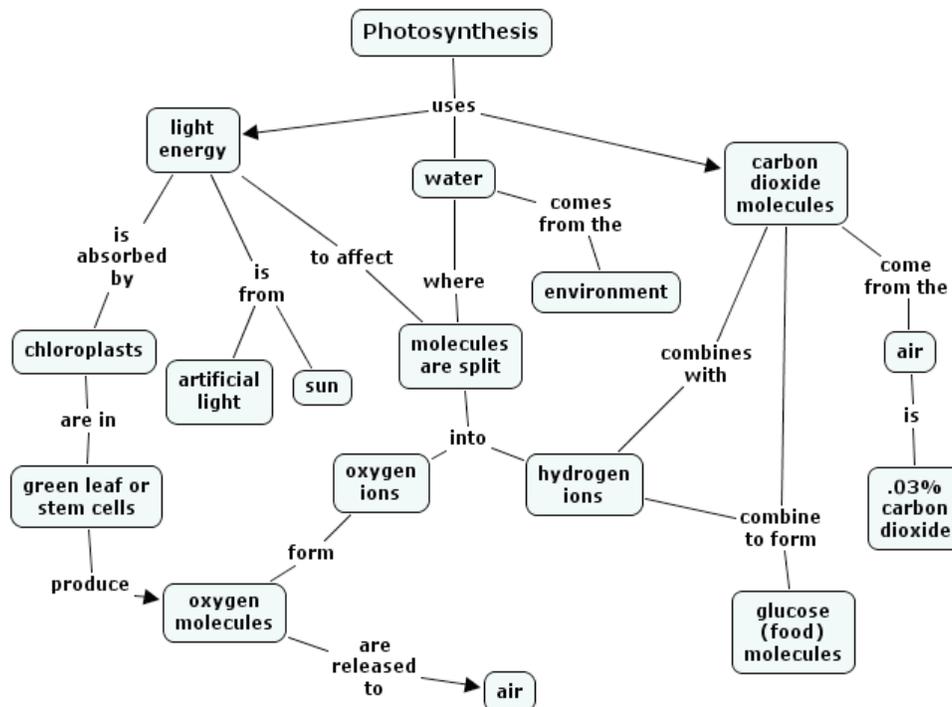


Figura 4. Un ejemplo de un sub-mapa conceptual para la Figura 3, trata de una forma de transformación de energía realizada por las plantas verdes llamada fotosíntesis. Este mapa conceptual puede estar unido al concepto energía de luz en la Figura 3 como un icono que abre este mapa cuando se le da un clic.

4 Proyecto El Mundo de la Ciencia (*The World of Science*)

Al principio de los años 60, Novak trabajó en una serie de libros de ciencia para primaria que fueron primero publicados por Bobbs-Merrill como “The Wonderworld of Science”, la cual era una edición de libros de ciencias relativamente tradicional. La mayoría de los libros de texto de ciencias de escuelas de primaria cubren muchos, muchos temas de ciencias muy superficialmente. Ninguno de estos libros presenta conceptos básicos de átomos y moléculas y la naturaleza y transformación de la energía en los primeros grados. Sin introducir estos conceptos, es esencialmente imposible brindar *explicaciones* del por qué las cosas en el universo se comportan de la forma que lo hacen. Wonderworld fue un nombre apto para los primeros libros de Bobbs-Merrill lo mismo que todos las otras 28 series de libros de ciencias de primaria que estaban en el mercado en 1960’s, ya que ellos hicieron poco por explicar por qué las cosas en el universo se comportan de la manera que lo hacen. De hecho, ¡hoy sigue siendo el caso para la mayoría de los programas de ciencias de las escuelas de primaria! El problema de cobertura superficial de los temas de ciencias fue reconocido también por el Comité de Currículo de la Asociación Nacional de Maestros de Ciencias y su plan de construir instrucción de las ciencias sobre “esquemas básicos conceptuales” (Novak, 1964). La teoría cognitiva de Ausubel (1963; 1968) fue publicada en 1963, y esta se convirtió en la base para la escritura final de los libros para *The World of Science*. Novak tomó muchas de las buenas ilustraciones, actividades e ideas en los libros Wonderworld of Science y reescribió los libros para incluir información y actividades que ilustrarían la naturaleza particulada de la materia, energía y transformaciones de la energía, y la interrelación de la energía y materia en los sistemas vivos y no vivos. Después de 4 años de escribir y editar, *World of Science* fue publicado en 1966 (Novak, Meister, Knox, & Sullivan, 1966). Desafortunadamente, Bobbs-Merrill fue vendida a otra compañía en 1968 y esta compañía decidió no mercadear los libros *World of Science*. Sin embargo, los libros comenzaron a saborear un poco de éxito en las aulas de escuelas primarias en EEUU, y luego sirvieron como la base para lecciones audio-tutoriales diseñadas para nuestro estudio de 12 años (Novak, 2004b; Novak & Musonda, 1991). Todos estos libros han sido escaneados y esperamos hacerlos disponibles al público pronto en el sitio Web del IHMC (www.ihmc.us).

Nuestro plan es utilizar los libros *The World of Science* como el punto de partida para un proyecto de demostración para Un Nuevo Modelo Educativo. Para empezar, los mapas conceptuales han sido preparados para

todas las secciones del libro de segundo grado del *World of Science* titulado El Excitante Mundo de la Ciencia (*The Exciting World of Science*). Todos los mapas conceptuales están disponibles al público en la Red de CmapTools³. Los mapas conceptuales les servirían a los maestros y estudiantes como punto de inicio para cada sección ilustrada en el libro, y luego los estudiantes usarían estos mapas junto con CmapTools para hacer búsquedas en Internet por los recursos e ideas pertinentes. La Figura 5 ilustra uno de los mapas conceptuales “esqueleto” hechos por expertos que podría ser usado como el punto de inicio para la construcción de un modelo de conocimiento, preferiblemente estudiantes trabajando en equipos y compartiendo ideas.

Los libros de ciencias brindan lecturas importantes y sugieren actividades. Sería importante para el maestro ayudar a los estudiantes a llevar a cabo estas actividades, y actividades similares relacionadas, algunas de las cuales podrían ser sugeridas por los recursos en Internet. Los aprendices agregarían también sus propios conceptos al mapa conceptual “esqueleto” hecho por experto, al igual que los recursos identificados en las lecturas e Internet. La Figura 6 ilustra una etapa en este proceso.

Obviamente, este sería un programa de ciencias muy deficiente si no involucrara nada más que tener a los estudiantes construyendo sobre los mapas conceptuales “esqueleto” construidos por expertos. Los estudiantes necesitan experiencias concretas y prácticas con cosas reales y observar fenómenos reales para poner significados dentro de los espacios para conceptos provistos en los mapas conceptuales y otros recursos. La Figura 7 muestra un mapa conceptual ilustrando algunas de las características clave de este Nuevo Modelo Educativo. Cuando se está en línea, al dar un clic en los iconos sobre los conceptos brinda información adicional. Otro mapa conceptual para el Nuevo Modelo Educativo puede encontrarse en la red de CmapTools⁴.

Un proyecto piloto se está llevando a cabo en Italia, donde Giuseppe Valittuti (2004) está trabajando en la traducción de los libros de *The World of Science* al italiano. Valittuti y sus colegas han obtenido financiamiento del Ministro de Educación italiano para entrenamiento de maestros y espera un número de equipos de escuelas de primaria para comenzar a trabajar con los mapas conceptuales de *World of Science* y otros recursos durante el año. El plan es tener cuatro conjuntos de escuelas enfocadas en diferentes aspectos de la serie *The World of Science* y producir fotos y videos de estudiantes haciendo proyectos que ilustran y utilizan los diversos conceptos de ciencias. Habrá mucha retroalimentación de las clases ayudando a los equipos para refinar su trabajo, compartiendo

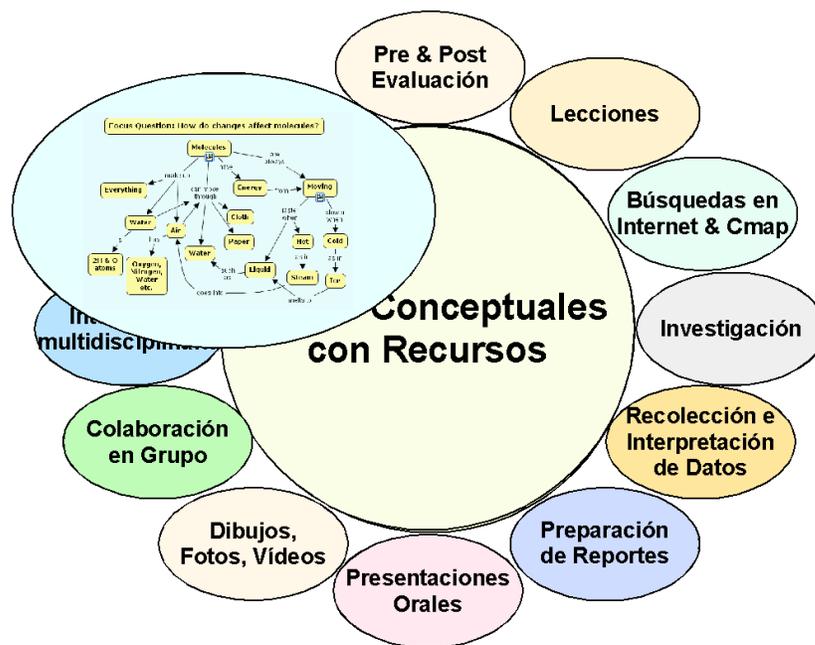


Figure 5. Esquema que muestra el Nuevo Modelo Educativo con un mapa conceptual “esqueleto” construido por un experto.

³ Sitio: IHMC Public Cmaps (2), Carpeta: The World of Science.

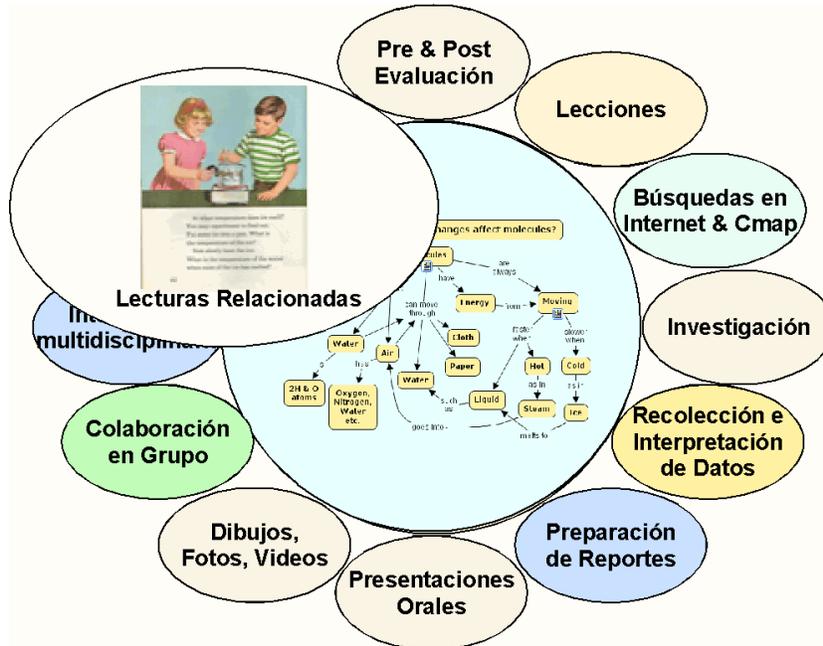


Figura 6. Esquema mostrando el Nuevo Modelo para Educación con conceptos y recursos agregados al mapa conceptual “esqueleto” construido por un experto, más una página de un libro de *World of Science* brindando lecturas y actividades relevantes.

“portafolios electrónicos” usando CmapTools. Esta retroalimentación deberá ayudarnos a refinar rápidamente los mapas conceptuales, técnicas y enfoques para mejorar la práctica del Nuevo Modelo Educativo. La Red de CmapTools puede servir como un repositorio y sitio de intercambio para algunos de estos esfuerzos a través de sus Sitios públicos en Italia y otros países. Anticipamos que una abundancia de datos tanto anecdóticos como empíricos fluirán de estos esfuerzos en unos pocos años. Basados en los sólidos descubrimientos ahora disponibles de investigación teórica y relacionada, hay muchas razones para estar optimistas de que estos esfuerzos innovadores serán exitosos.

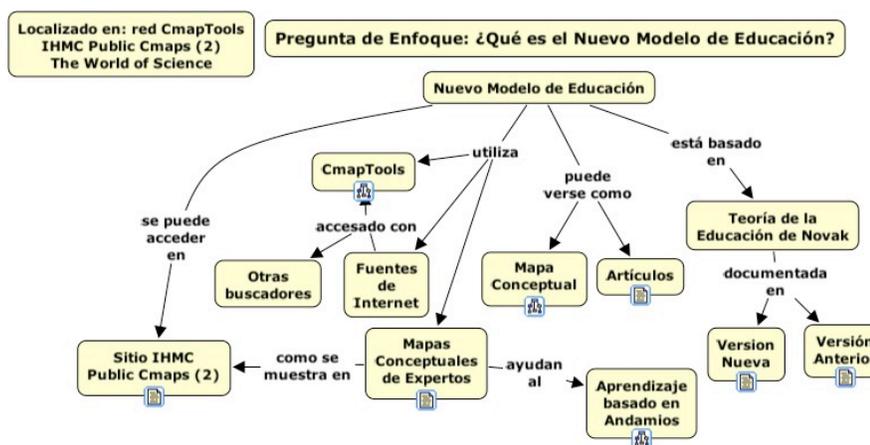


Figura 7. Un mapa conceptual mostrando algunas de las características clave del Nuevo Modelo Educativo. Cuando está en línea, los iconos debajo de los conceptos llevan a información adicional.

5 Problemas de Implementación

El mayor reto que podríamos esperar es cambiar la situación actual en la dirección del maestro como facilitador y estudiante a partir del modelo prevalente de maestros como diseminadores de información. Sabemos que necesitamos involucrar a los maestros y administradores en programas de capacitación que pueden modelar los nuevos enfoques educacionales, y también necesitamos pedir su consejo sobre la manera de mejorar el Nuevo Modelo Educativo. También está el reto de las prácticas de evaluación que ahora dependen principalmente de pruebas de escogencia múltiple que miden sobre todo el contestar preguntas basándose en aprendizaje memorístico, pasando a pruebas basadas en rendimiento que requieren que los estudiantes demuestren que ellos entienden los conceptos básicos y pueden usar estos conceptos en resolver nuevos problemas, y que pueden usar los recursos de Internet para aumentar y modificar sus conceptos y aprender nuevos conceptos. Todavía queda mucho espacio en el Nuevo Modelo para la adquisición de hechos específicos y procedimientos, pero ahora estos deben ser aprendidos dentro del contexto de marcos conceptuales poderosos. La investigación ha demostrado (Bransford et al., 1999) que la información adquirida en un contexto de aprendizaje significativo no solo se retiene por más tiempo, sino que esta información puede ser usada mucho más exitosamente para resolver problemas nuevos.

Referencias

- 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. (2000). *The Acquisition and Retention of Knowledge: a Cognitive View*. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers.
- 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.
- Bransford, J., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Eds.). (1999). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Cañas, A. J., & Badilla, E. (2005). Pensum No Lineal: Una Propuesta Innovadora para el Diseño de Planes de Estudio. *Actualidades Investigativas en Educación, Facultad de Educación, Universidad de Costa Rica*, 5 Edición Especial.
- Cañas, A. J., & Carvalho, M. (2004). Concept Maps and AI: an Unlikely Marriage? In *Proceedings of SBIE 2004: Simpósio Brasileiro de Informática Educativa*. Manaus, Brasil: SBC.
- 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., Eskridge, T., et al. (2004). 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. (2003). *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. (2003). *Support for Constructing Knowledge Models in CmapTools* (Technical Report No. IHMC CmapTools 2003-02). Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition.
- 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., Carnot, M. J., Feltovich, P. J., Feltovich, J., Hoffman, R. R., Cañas, A. J., et al. (2003). *A Summary of Literature Pertaining to the Use of Concept Mapping Techniques and Technologies for Education and Performance Support* (No. Technical Report submitted to the US Navy Chief of Naval Education and Training). Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition.
- Novak, J. D. (1964). The Importance of Conceptual Schemes for Teaching Science. *The Science Teacher*, 31(6), 10-13.
- Novak, J. D. (1977). *A Theory of Education*. Ithaca, NY: Cornell University Press.

- 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 Inappropriate Propositional Hierarchies (LIPHs) Leading to Empowerment of Learners. *Science Education*, 86(4), 548-571.
- Novak, J. D. (2003). The Promise of New Ideas and New Technology for Improving Teaching and Learning. *Journal of Cell Biology Education*, 2(Summer), 122-132.
- Novak, J. D. (2004a). A Science Education Research Program that Led to the Development of the Concept Mapping Tool and a New Model for education. 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*. Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.
- Novak, J. D. (2004b). Reflections on a Half-Century of Thinking in Science Education and Research Implications from a Twelve-Year Longitudinal Study of Children's Learning. *Canadian Journal of Science, Mathematics, and Technology Education*, 4(1), 23-41.
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2004). Building on Constructivist Ideas and CmapTools to Create a New Model for Education. 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*. Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning How to Learn*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Novak, J. D., Meister, M., Knox, W. W., & Sullivan, D. W. (1966). *The World of Science Series. Books One through Six*. Indianapolis, IN: Bobbs-Merrill.
- Novak, J. D., & Musonda, D. (1991). A Twelve-Year Longitudinal Study of Science Concept Learning. *American Educational Research Journal*, 28(1), 117-153.
- O'Donnell, A., Dansereau, D., & Hall, R. H. (2002). Knowledge Maps as Scaffolds for Cognitive Processing. *Educational Psychology Review*, 14, 71-86.
- Pérez, A. L., Suero, M. I., Montanero, M., & Fernández, M. M. (2000). *Mapas de Experto Tridimensionales*. Extremadura, España: Consejería de Educación, Ciencia y Cultura de la Junta de Extremadura.
- Pérez, Á. L., Suero, M. I., Montanero, M., & Pardo, P. J. (2004). Aplicaciones de la Teoría de la Elaboración de Reigeluth y Stein a la Enseñanza de la Física. Una Propuesta Basada en la Utilización del Programa Informático CmapTools. 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)*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- Qin, Z., Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1995). Cooperative versus Competitive Efforts and Problem Solving. *Review of Educational Research*, 65(Summer), 129-143.
- Scardamalia, M., & Bereiter, C. (1993). Technologies for Knowledge-Building Discourse. *Communications of the ACM*, 36(5), 37-41.
- Valittuti, G. (2004). Personal communication.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in Society: the Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.