



---

## Fundamentos Psicológicos del Aprendizaje Humano

Joseph D. Novak & Alberto J. Cañas  
Institute for Human and Machine Cognition  
[www.ihmc.us](http://www.ihmc.us)

---

Este documento es parte de la sección [Cmappers.Aprende](http://www.cmappers.net) de [www.cmappers.net](http://www.cmappers.net). Visite el sitio para aprender sobre mapas conceptuales.

---

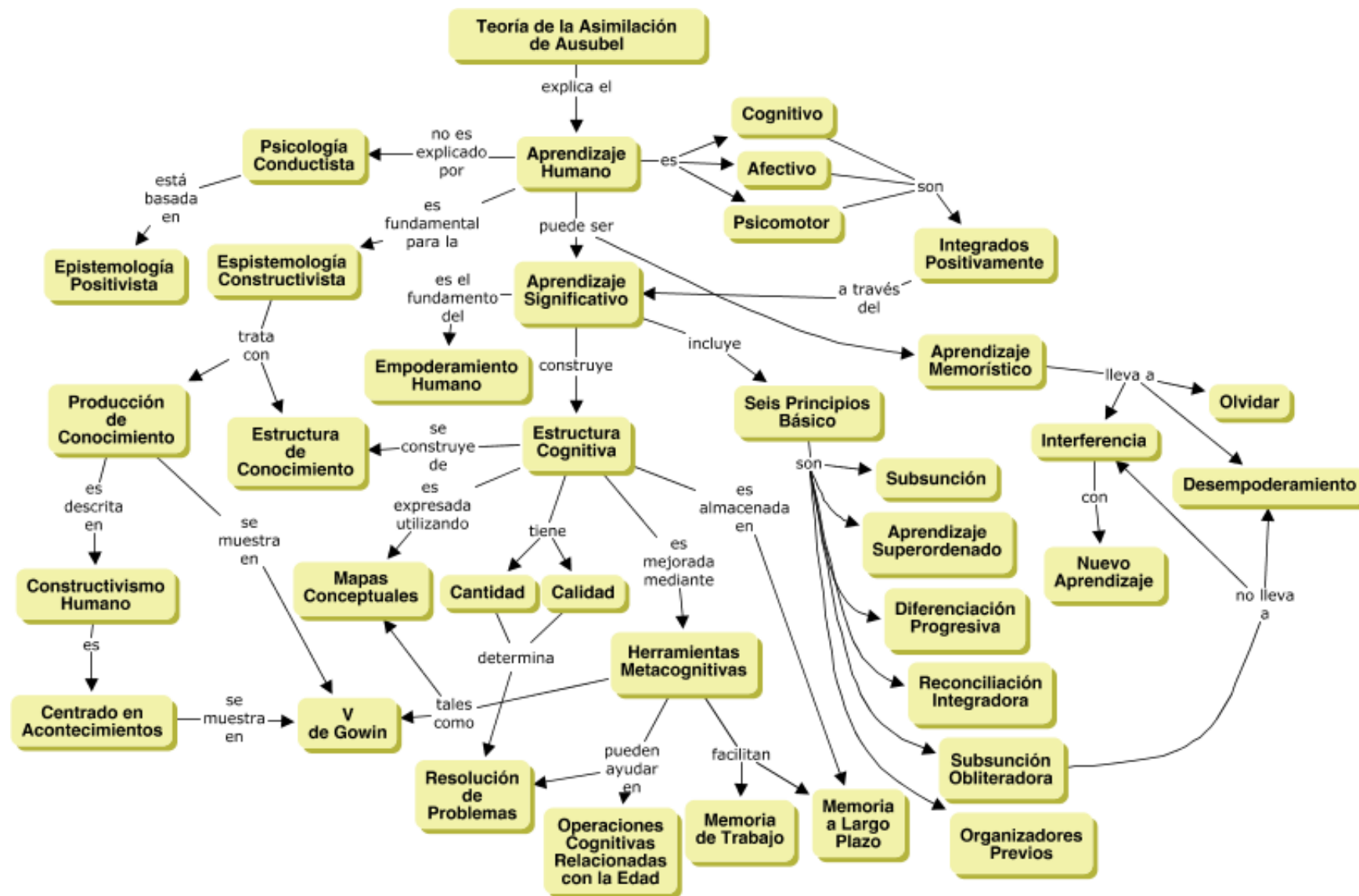


Figura 1. Conceptos claves y principios que explican el aprendizaje humano de acuerdo con Ausubel y Novak.

(haga click en la imagen para mostrar una versión más grande)

### Estudios Iniciales sobre el Aprendizaje

A pesar de que encontramos escritos sobre aprendizaje por parte de académicos desde el quinto siglo AC, la mayoría de estos documentos

están basados en introspecciones personales, y no en observaciones sistemáticas. Una de las primeras personas en recoger datos sobre el aprendizaje de animales fue Iván Pávlov en el siglo 19. Pávlov observó que los perros respondían a varios estímulos de forma predecible. También descubrió la respuesta condicionada, que ilustra por qué un perro que escucha un campana cada vez que se le presenta comida luego saliva cuando solo se toca la campana. Hermann Ebbinghaus, también en el siglo 19, fue una de los primeros en recoger datos sobre el aprendizaje por parte de humanos. Usándose a si mismo como sujeto de experimentación, observó que de una lista de sílabas sin sentido, las sílabas podían ser recordadas por longitudes de tiempo variables, dependiendo de la lista y cómo fueron memorizadas. Inventó el uso de sílabas sin sentido (triadas de letras que no tenían significado común) para evitar los problemas asociados con la memorización de información que estaba relacionada con lo que ya se conocía, confundiendo el proceso de memorización.

De la mitad de los 1800s hasta la mayor parte del siglo 20, el estudio del aprendizaje tenía que ver o con la investigación del aprendizaje por animales, o con la investigación del aprendizaje por humanos que minimizaba el efecto del conocimiento previo sobre el nuevo aprendizaje. La premisa era que si las leyes del aprendizaje pudieran ser descubiertas con los experimentos sencillos y controlados con animales, con sílabas sin sentido, con asociaciones de parejas de palabras, etc., estas leyes podrían ser extrapoladas al aprendizaje de tareas más complejas en la escuela y en el trabajo. Como observó Mandler (1967), "[Este] pagaré resultó ser un cheque sin fondos. Al menos hasta 1966, nadie ha podido cambiarlo en efectivo" (página 6). Lo extraordinario es que este tipo de investigación continuó dominando la psicología educativa hasta bien entrados los 1980s. Parte de la razón por la cual esta psicología conductista persistió por tanto tiempo es que estaba reforzada por una epistemología o filosofía del conocimiento conocida como positivismo o positivismo lógico que sostenía que las observaciones cuidadosas llevarían a probar o descartar los principios y teorías y que, una vez comprobadas, las "leyes" durarían para siempre. Vemos en esta historia como una epistemología defectuosa sostenía una psicología defectuosa, y algo de esto continúa hoy día. En un documento complementario (\*\*falta el enlace\*\*) cubrimos la epistemología, o la naturaleza del conocimiento y la creación del conocimiento.

### El Ascenso de la Psicología Cognitiva

A pesar de que algunos pioneros en psicología nunca se suscribieron al dogma de los conductistas, las políticas de la psicología y el control sobre las agencias que proveen financiamiento a investigaciones hicieron muy difícil que investigadores con otros puntos de vista tuvieran acceso a los recursos para sus investigaciones y publicar sus descubrimientos, particularmente en los EEUU. Piaget en Suiza, Vygotsky en Rusia, y Barlett en los EEUU se encuentran entre estos pioneros. Piaget y Vygotsky publicaron fuera de EEUU, y Barlett si logró llegarle a una audiencia pequeña en EEUU que simpatizaba con sus teorías. El trabajo de estas personas empezando a principio de los 1900s estableció parte de las bases para estudios sobre el aprendizaje en humanos relacionados con los procesos cognitivos complejos que se dan dentro del cerebro, y que por lo tanto no eran fáciles de observar. El psicólogo conductista estricto veía este trabajo como mentalista y falto de metodología y rigurosidad científica. Sin embargo, lo que carecían en rigor experimental lo compensaban de más por el alto nivel de relevancia que su trabajo tenían en el aprendizaje en la escuela y el trabajo. Gradualmente el péndulo osciló a favor de los psicólogos cognitivos, y definitivamente ellos dominan actualmente la disciplina.

Entre los líderes iniciales de esta "revolución cognitiva" se encontraba David Ausubel. Su libro *Psicología del Aprendizaje Verbal Significativo* (*Psychology of Meaningful Learning*) publicado en 1963 (Ausubel 1963) y su libro *Psicología Educativa: Un Punto de Vista Cognitivo* (*Educational Psychology: A Cognitive View*) publicado en 1968 (Ausubel, 1968) se convirtieron en las bases psicológicas para las investigaciones que Novak y sus estudiante estaban realizando en la Universidad de Cornell. En el epígrafe de su libro de 1968, Ausubel afirma:

Si tuviera que reducir toda la psicología de la educación a un solo principio, diría lo

siguiente: El factor individual más importante que influye en el aprendizaje es lo que el aprendiz ya conoce. Determina esto y enséñale consecuentemente.

Este principio es actualmente reconocido como fundamental para entender cómo aprenden las personas, específicamente que construyen nuevo conocimiento mediante la integración de nuevos conceptos y proposiciones con conceptos y proposiciones relevantes que ya conocían. Lo que Ausubel describió en sus libros iniciales fue los procesos por medio de los cuales se da esta integración de nuevo conocimiento con el conocimiento existente. La Teoría de la Asimilación de Ausubel explica como los humanos construyen sus estructuras de conocimiento o cognitivas. El reto para el docente es identificar con alguna precisión los conceptos y proposiciones que el alumno ya conoce y que son relevantes al material que se debe aprender, y luego diseñar la instrucción para facilitar la integración de nuevos conceptos y proposiciones a la estructura de conocimiento o cognitiva de ese alumno. Veremos como se da este proceso, y como los mapas conceptuales pueden facilitar este proceso. Las ideas principales que subyacen la teoría de Ausubel se muestran en la Figura 1.

Pausamos para hacer notar que el cerebro no es un "recipiente vacío" listo para ser llenado con información, a pesar de que la mayoría de la enseñanza en la escuela y universidad se da como si este fuera el caso. En vez, el cerebro es un órgano sumamente complejo que reconoce y almacena señales de nuestros sistemas sensoriales incluyendo imágenes, olores, sentimientos y señales propioceptoras de nuestros músculos. La mayoría de esta información es enviada de nuestros sistemas sensoriales a una área llamada memoria de trabajo, y a través de interacciones con conocimiento en nuestra memoria de largo-plazo es que nuevos significados son construidos y se convierten en parte de nuestra memoria de largo plazo, o nuestra estructura cognitiva. Una de las razones por las cuales creemos que los mapas conceptuales facilitan el aprendizaje significativo es que ayudan en el proceso de organizar y consolidar información, sirviendo como una especie de "andamio" para establecer enlaces entre nueva información que se está procesando e información almacenada en la memoria de largo plazo. Discutiremos esto con más detalle más adelante. La Figura 2 ilustra de forma esquemática los sistemas de memoria en el cerebro.

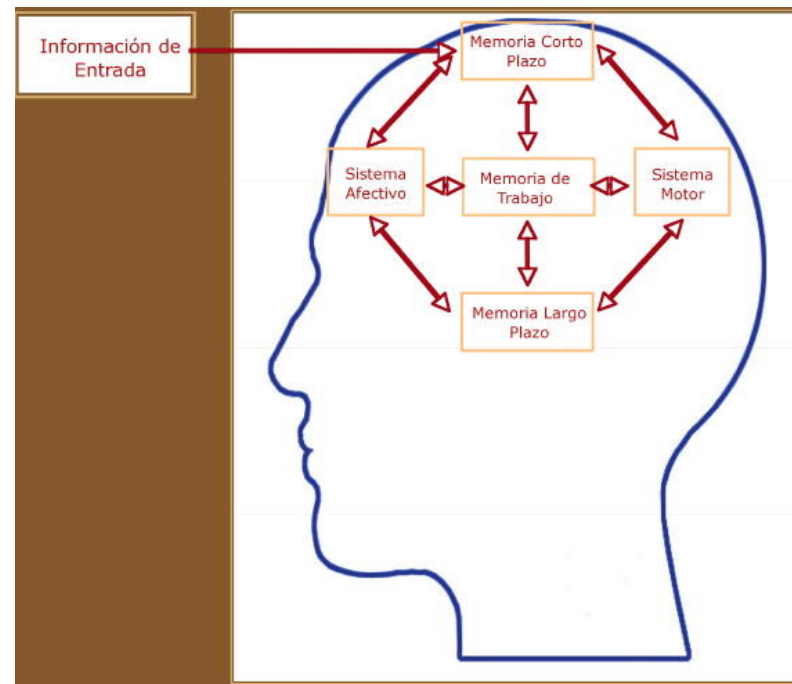


Figure 2. Esquema mostrando los sistemas claves de memoria del cerebro.

Desde hace algunas décadas se sabe que la región hipocampo del cerebro es importante para el procesamiento de información y es considerada el sitio de la memoria de trabajo. En el transcurso del aprendizaje significativo, hay una interacción entre la información almacenada en memoria de largo plazo y nueva información recibida en la memoria sensorial. Investigaciones recientes muestran que el hipocampo también juega un rol en la creatividad y la imaginación. Individuos con daños en su hipocampo tienen dificultades recordando acontecimientos pasados e imaginándose acontecimientos nuevos (Miller, 2007).

### Los Seis Principios del Aprendizaje de Ausubel

En sus escritos iniciales, Ausubel describe seis principios claves del aprendizaje, cada uno de los cuales se interrelaciona con los otros. Estos principios se listan en la Figura 1 arriba. El número reducido de principios hace que la teoría sea sencilla en término del número de principios claves involucrados, pero difícil de dominar en el sentido que se necesita algún entendimiento de todos los principios para tener una mejor comprensión de cualquier de ellos. Aún más, todos los principios se relacionan con el proceso de aprendizaje significativo, en contraste con el aprendizaje memorístico. La distinción entre el aprendizaje memorístico y el aprendizaje significativo parece ser, en la superficie, fácil de entender, pero llegar a comprender a fondo el aprendizaje significativo es casi un esfuerzo de toda una vida. En el aprendizaje significativo, el conocimiento nuevo no se agrega a la estructura cognitiva como agregar líquido, arena o canicas a un contenedor. El conocimiento nuevo es asimilado a, e integrado con conocimiento relevante anterior ya existente. Este es un proceso activo, y solamente el aprendiz puede decidir que desea aprender de forma significativa. Esto presenta un reto para el docente, tanto en la instrucción como en la evaluación del aprendizaje. Este proceso de asimilación es el que le da el nombre a la Teoría de la Asimilación del Aprendizaje de Ausubel (1968; 2000).

En el siglo 5 AC, Zeno de Elea propuso un número de paradojas. Observó correctamente que las ideas nuevas que podemos aprender dependen de lo que ya conocemos. ¿Cómo puede entonces un bebé aprender algo? La respuesta es que el bebé está dotado por evolución con la capacidad de observar regularidades o patrones en acontecimientos u objetos en su ambiente y luego codificar estas regularidades usando palabras. Este es un proceso de aprendizaje por descubrimiento donde los criterios de los atributos de los patrones o regularidades no se le dan al niño sino más bien son descubiertos por cada niño a través de experiencias con los acontecimientos y objetos observados. Es una hazaña notable de aprendizaje, y sin embargo todo niño normal logra empezar a aprender los conceptos y etiquetas para conceptos para cuando llega a los dos años de edad, y en algunos casos a usar dos o más idiomas para codificar los mismos conceptos. Por eso es que la paradoja de Zeno no se aplica al aprendizaje en humanos. Si todo niño normal es exitoso en esta difícil tarea antes de empezar la escuela, ¿por qué tanto niños tienen problemas dominando conceptos mucho más sencillos cuando están en la escuela? La respuesta corta es que muy frecuentemente los procedimientos de la escuela fomentan el aprendizaje memorístico, donde no se adquieren significados importantes de los conceptos. En su lugar, las escuelas deberían usar procedimiento que requieran del estudiante un aprendizaje significativo, esto es, que integre el significado de nuevos conceptos y proposiciones a su estructura actual de conceptos y proposiciones.

### Subsunción

Este principio sostiene que nuevos conceptos o proposiciones asimilados en la estructura cognitiva son usualmente subsumidos bajo conceptos y proposiciones relevantes más generales, más inclusivos. Por ejemplo, terrier, collie y perro salchicha pueden ser subsumidos bajo el concepto "perro", ampliando y refinando ese concepto. Subsunción es posiblemente la forma más sencilla de aprendizaje significativo, ya que se requiere relativamente poca reestructuración cognitiva, y usualmente la relación entre la nueva idea y el concepto subsumidor es fácil de reconocer. Subsunción también lleva a alguna pérdida de distinción del nuevo concepto o proposición subsumido, y con el tiempo algunos conceptos subsumido pueden ser olvidados. Sin embargo, la contribución que estos conceptos hicieron al desarrollo del concepto subsumidor en gran medida permanece y aprender nuevos conceptos relevantes va a ser en cierta medida facilitado. Una persona puede olvidarse que maltés es uno de las 150 razas de perro, pero aprender sobre otras razas mejora nuestro concepto de perro.

### Subsunción Obliteradora

Como notamos arriba, el proceso de subsunción de nuevas ideas a la estructura cognitiva tiene como consecuencia alguna pérdida de identidad de la idea subsumida, y esto empieza el proceso de subsunción obliteradora. Con el tiempo, puede que no sean recordados conceptos y proposiciones específicas subsumidas en la estructura cognitiva. Sin embargo, este proceso es usualmente mucho más lento que la pérdida de información aprendida de memoria. Aún más, la información olvidada después de aprendizaje memorístico usualmente interfiere con el aprendizaje de nueva información similar, mientras que la información perdida a través de subsunción obliteradora no tiene este efecto negativo. De hecho, la contribución que la información subsumida obliterada realizó al mejoramiento de la proposición o concepto subsumidor permanece y confiere facilitación de nuevo aprendizaje relacionado. El mensaje importante es que a pesar de que la pérdida de algún conocimiento a través del tiempo es inevitable después de un aprendizaje memorístico o significativo, la pérdida es menor después de un aprendizaje significativo y el efecto negativo sobre nuevo aprendizaje que puede resultar por olvidarse después de aprendizaje memorístico no sucede después de subsunción obliteradora. Otro factor que opera para reducir la subsunción obliteradora es una mejor organización de ideas en la estructura cognitiva. Cuando el conocimiento está organizado de mejor organizada, y talvez con enlaces cruzados importantes, se retrasa la pérdida de información, y la capacidad de utilizar la información en nuevos contextos aumenta.

### Diferenciación Progresiva

A como se da un aprendizaje significativo, los conceptos y proposiciones en la estructura cognitiva se vuelven más precisos, son utilizables

de forma más amplia en nuevos aprendizajes y en la solución de problemas, y se discriminan mejor de ideas similares pero distintas. Los estudios comparativos del conocimiento y proceso de solución de problemas sobre un tema por parte de expertos y novatos muestran que los expertos tienen una mucho mejor organización de su conocimiento y tienden a utilizar conceptos más generales, incluyentes, desde un inicio. Los novatos muestran una fijación por los detalles y utilizan conceptos más específicos, menos generales, que frecuentemente llevan a "soluciones" erróneas (Bransford, Brown, & Cocking, 1999). El uso de mapas conceptuales puede facilitar una mejor organización del conocimiento y el camino hacia convertirse en experto.

Para ilustrar la diferenciación progresiva, mostramos los siguientes dos mapas conceptuales que fueron construidos basándose en entrevistas con un estudiante al final del segundo grado de primaria y final del duodécimo grado (final de la secundaria). Este estudiante formó parte de un estudio de doce años sobre la comprensión de conceptos básicos de ciencias. Esta también fue la investigación que llevó a la invención de la herramienta de mapas conceptuales (Novak 2005). La Figura 3 muestra que este estudiante tiene alguna comprensión de la naturaleza de la materia, y también sabía que el hielo se derrite al calentarlo. A pesar de que Paul tenía el concepto de que las cosas se componen de pequeños pedazos o trozos, no tenía el concepto de átomos o moléculas, o los nombres de estos conceptos. Sin embargo, tenía algunos conceptos que podrían servir para subsumir nuevo aprendizaje relevante, y obviamente había estado tratando de entender las cosas que se le habían dicho y de organizar su conocimiento. En resumen, Paul aprendía de forma significativa en sus años iniciales en la escuela, y entrevistas subsiguientes con Paul mostraron que continuaba intentando integrar nuevas ideas a su estructura cognitiva.

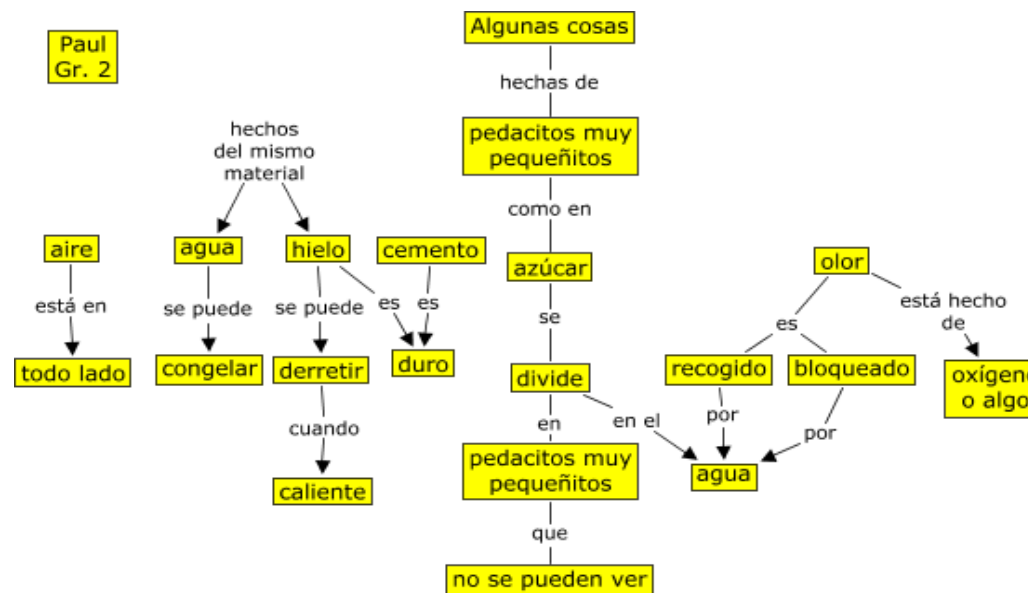


Figura 3. Un mapa conceptual construido de una entrevista con Paul al final del segundo grado de primaria.

(haga click en la imagen para desplegar una imagen más grande)

La Figura 4 muestra un mapa conceptual construido con base en una entrevista con Paul al final del grado duodécimo. Vemos que ha agregado muchos conceptos y proposiciones a su conocimiento sobre la estructura de la materia y el papel que juega la energía calorífica.





La reconciliación integradora es un resultado sumamente importante de niveles relativamente altos de aprendizaje significativo. Las investigaciones muestran que las concepciones erróneas muy raras veces son corregidas cuando el aprendizaje es memorístico (Novak, 2002). Las entrevistas con estudiantes que aprenden de forma memorística frecuentemente muestran que tienen ideas conflictivas y que no están al tanto de las contradicciones que expresan durante las entrevistas o al resolver problemas. Baron & Goldman (1994) encontraron que estudiantes repiten la respuesta correcta sobre el aislamiento que proveen diferentes tipos de tazas, pero luego muestran evidencia de los mismos errores conceptuales en una segunda unidad relacionada. El proyecto Private Universe (Schneps, 1989) desarrolló videos que muestran un número de casos donde estudiantes "aprenden" la respuesta correcta a un problema dado, y luego manifiestan el error conceptual persistente cuando se les entrevista sobre un problema relacionado. Sobra decir que esto lleva a resoluciones de problemas erróneas, fracaso en transferir conocimiento a nuevos entornos, y a ningún apoyo en futuros aprendizajes relacionados. Generar ideas creativas es virtualmente imposible, ya que las estructuras de conocimiento defectuosas simplemente no funcionan al tratar de encontrar soluciones nuevas y creativas a problemas.

### Aprendizaje Superordenado

Mientras la subsunción es el proceso de aprendizaje más común mediante el cual nuevos conceptos son asimilados como parte de la estructura cognitiva, ocasionalmente se adquiere un concepto o proposición nueva que es más general y más inclusivo que los conceptos o proposiciones aprendidos anteriormente. Para Paul, un caso claro de aprendizaje superordenado fue la adquisición del concepto de molécula. Vemos en el mapa conceptual del duodécimo grado que este concepto no solo tiene una posición superordenada, reemplazando el concepto anterior de "pedacitos muy pequeñitos", sino que ya ha integrado con este concepto ideas sobre energía, particularmente conceptos relacionados con la naturaleza y el papel de la energía calorífica. El ve que los estados de la materia son una función de la cantidad de energía calorífica almacenada en las moléculas. El concepto de energía también se está convirtiendo en un concepto superordenado y esto posiblemente sería más evidente si las entrevistas hubieran profundizado en su comprensión de energía. Como observamos anteriormente, los expertos difieren de los novatos en el número y calidad de conceptos superordenados que han desarrollado y su habilidad para utilizar estos conceptos en aplicaciones nuevas o en la adquisición de nuevo conocimiento. Una característica de alumnos que aprenden principalmente de forma memorística es que tienen menos conceptos superordenados y estos están menos diferenciados. Aún más, frecuentemente expresan proposiciones incorrectas o defectuosas, e inclusive proposiciones contradictorias, al ser entrevistados.

### Organizador Previo

Este principio es posiblemente el más reconocido de los principios de Ausubel, a pesar de que pocas veces es aplicado. Brevemente, un organizador previo es un segmento de instrucción más general, más abstracto, que es presentado antes de instrucción más específica y detallada, sirviendo como una especie de "puente cognitivo" entre lo que el estudiante ya sabe y el nuevo conocimiento por aprenderse. Por ejemplo, podríamos sugerir que los automóviles, como la gente, tienen "cumpleaños" para luego pasar a explicar que la fecha en que el auto deja la línea de ensamblaje está estampada en la placa del auto, junto con otra información. La edad de un auto se mide a partir de esta fecha, de forma similar a la edad de una persona. Todos los estudiantes están familiarizados con el concepto de "cumpleaños" y pueden enlazar de forma significativa a esta idea la fecha de fabricación de un automóvil.

Los mapas conceptuales pueden servir como organizadores previos, especialmente cuando tienen arriba los conceptos más generales, más inclusivos, que es más probable sean familiares para los estudiantes, seguidos de conceptos y proposiciones progresivamente más generales y específicas más abajo en el mapa.

### El Continuo entre el Aprendizaje Memorístico y Significativo

De la discusión anterior debería ser obvio que la cantidad y calidad de las estructuras de conocimiento para cualquier dominio varía enormemente entre individuos. También varía su motivación en buscar integrar nuevos conocimientos y proposiciones con su conocimiento actual y sus habilidades metacognitivas para lograrlo. Metacognición, explicada de forma sencilla, es el conocimiento sobre adquisición de conocimiento, un tema que exploraremos con más detalle más adelante. Las diferencias entre individuos en términos de conocimiento relevante, motivación y metacognición tiene como consecuencia que para cualquier episodio de aprendizaje, los individuos pueden variar desde casi puro aprendizaje memorístico hasta altos grados de aprendizaje significativo, como se ilustra en la Figura 5. Mientras el determinante principal del nivel de aprendizaje significativo recae en el aprendiz, los docentes y capacitadores pueden influir por medio del tipo de instrucción que proveen y el tipo de evaluación que utilizan. Por ejemplo, si se requiere que los estudiantes utilicen mapas conceptuales como parte de su aprendizaje, y tal vez se les pide que construyan mapas conceptuales como parte de la evaluación de su aprendizaje, estas actividades fomentan altos niveles de aprendizaje significativo.

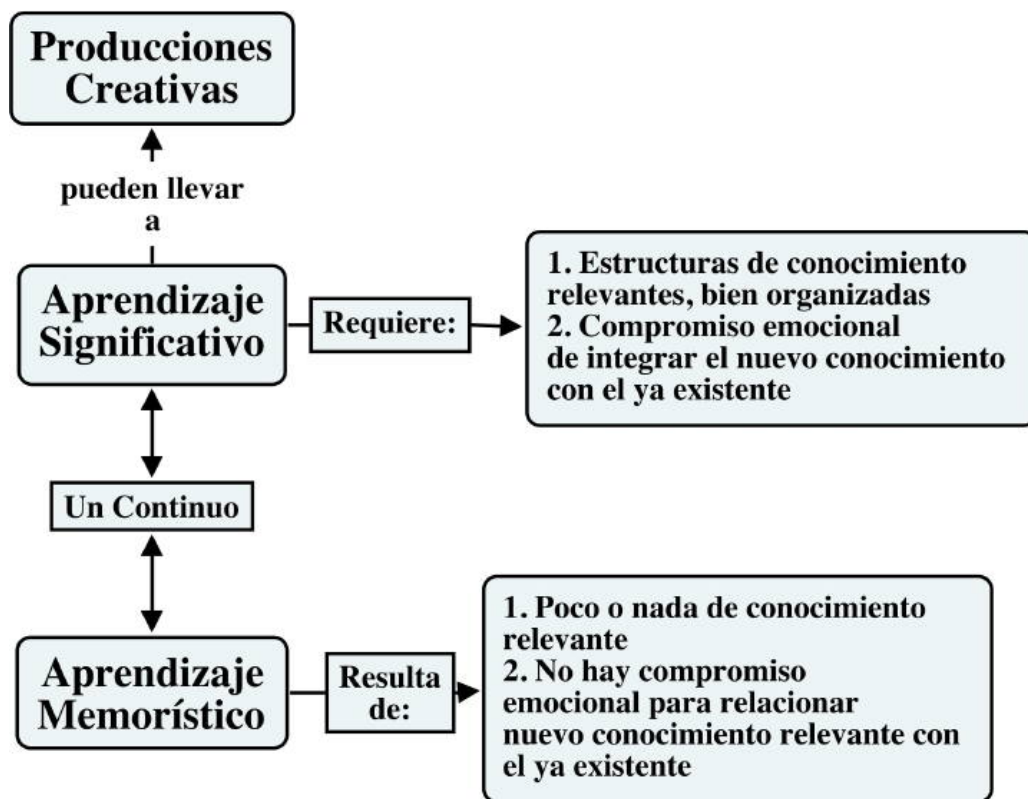


Figura 5. El continuo entre aprendizaje memorístico y significativo.

En nuestra opinión, la creatividad se obtiene cuando un individuo se mueve a altos niveles de aprendizaje significativo en el tema específico. Aunque la gente creativa frecuentemente conoce mucha información relevante, su característica principal es su habilidad para ver nuevas reconciliaciones integradoras en su conocimiento, y su inclinación emocional por buscar esos nuevos significados. Todos los principios

mencionados anteriormente del aprendizaje significativo son ejecutados e integrados hábilmente por la persona creativa.

## Ideas adicionales de Psicología pertinentes a los Mapas Conceptuales

### Estadíos de Desarrollo Cognitivo

En los 1920's, Jean Piaget sugirió (1926) que los niños progresan en su desarrollo cognitivo a través de una serie de estadios. Desde su nacimiento hasta la edad de dos años, los niños están en un estadio sensorio-motor y responde principalmente tocando cosas y reaccionando a cosas en su ambiente. De los dos a los siete años, el niño se encuentra en el estadio pre-operacional y puede formar símbolos mentales que representan cosas y acontecimientos aún en la ausencia de estos. De los siete a los once años, el niño está en el estadio operacional concreto donde puede razonar sobre objetos o acontecimientos pero todavía requiere objetos y acontecimientos concretos para razonar y desarrollar inferencias sobre ellos. Finalmente, para la edad de los once años o mayor, el niño ha entrado al pensamiento operacional formal donde puede razonar sobre objetos y acontecimientos hipotéticos y realizar inferencias en la ausencia de experiencias directas con estos objetos o acontecimientos. De acuerdo con Piaget, los niños no pueden razonar sobre átomos o cambios de energía y sus acciones hipotéticas hasta que lleguen al estadio de razonamiento operacional formal.

A pesar de que el dominio de la psicología conductista en norteamérica evitó una comprensión amplia del trabajo de Piaget, para los años 1960's sus ideas sobre el desarrollo cognitivo de niños fueron ampliamente aceptadas en los círculos educativos en EEUU así como otros países. En algunos círculos sus ideas se convirtieron en dogmas y se volvió sumamente difícil conseguir financiamiento para investigaciones o proyectos que consideraban la posibilidad de que el potencial de aprendizaje de los niños fuera mucho mayor de lo sugerido por los estadios de Piaget. Este fue particularmente el caso con el National Science Foundation y otras agencias estatales y federales en los EEUU. Gradualmente investigadores empezaron a mostrar que niños e inclusive bebés poseen capacidades de aprendizaje mucho mayores de lo que comúnmente se creía y hoy día la mayoría de los psicólogos cognitivos como Donaldson (1973), Chi (1983), Carey (1985), Gerlman (1999), y otros, en gran parte descartan los estadios de Piaget como condiciones frontera razonables. El estudio a través de doce años de Novak sobre el desarrollo de comprensión de conceptos de ciencias por parte de niños como por ejemplo la naturaleza de las partículas de la materia, la naturaleza de la energía y la transformación de la energía no solamente desarrolló la técnica de los mapas conceptuales para darle seguimiento al entendimiento por parte de los estudiantes, sino que también mostró un notable desarrollo de comprensión temprana en niños de 6-8 años de edad (Novak & Musonda, 1991). El consenso emergente con respecto a las capacidades cognitivas de los niños es que estas son altamente dependientes del número y calidad de los conceptos y proposiciones desarrolladas para un dominio de conocimiento dado, y de la calidad de la organización de estos conceptos y proposiciones en su estructura cognitiva. Al mismo tiempo que esta visión abre numerosas posibilidades para la educación de niños pequeños, inclusive de edad pre-escolar, también presenta un enorme reto en cuanto a cómo diseñar la instrucción o aprendizaje para optimizar un aprendizaje significativo necesario para la adquisición de nuevo conocimiento y el desarrollo de una mejor organización de este conocimiento. De nuevo, veremos como la utilización de los mapas conceptuales, cuando se hace correctamente, puede facilitar de forma sustancial la construcción de estructuras de conocimiento poderosas por parte de individuos.

### Zona de Desarrollo Próximo (ZDP)

El psicólogo ruso Lev Vygotsky nació en 1896, el mismo año que Piaget, pero murió a la edad de 38 años, mientras que Piaget continuó activo y publicando hasta los 84 años. Vygotsky vio el desarrollo cognitivo de los niños de forma diferente a Piaget, en el sentido que vio el desarrollo cognitivo como altamente dependiente de la socialización y calidad de las experiencias del niño. Desafortunadamente, como murió joven y publicó en ruso, sus ideas no eran bien conocidas o aceptadas fuera de Rusia hasta hace poco cuando el péndulo de la

psicología cognitiva osciló en su dirección. Una de sus principales ideas fue que el desarrollo cognitivo del niño se mueve de su nivel actual de comprensión a un nivel más alto ya sea a través de su propio esfuerzo o cuando es apoyado o guiado. El llamó a este rango de desarrollo la zona de desarrollo próximo o ZDP, donde el primer nivel consiste de desarrollo que el aprendiz puede lograr sin apoyo o guía, mientras que para alcanzar el segundo nivel de la ZDP requiere de apoyo social o guía, que puede venir, por ejemplo, de un docente o de un compañero. Otra forma de ver la ZDP es que esta zona define la comprensión cognitiva que todavía se está desarrollando para un tema de conocimiento y con el tiempo esta comprensión madurará a niveles más avanzados. Hay varias formas en que se puede ayudar en este desarrollo, tales como los organizadores previos de Ausubel, los mapas conceptuales, y secuencias de instrucción planeadas con cuidado que construyen sobre conocimientos iniciales. Esto se ilustra en la Figura 6.

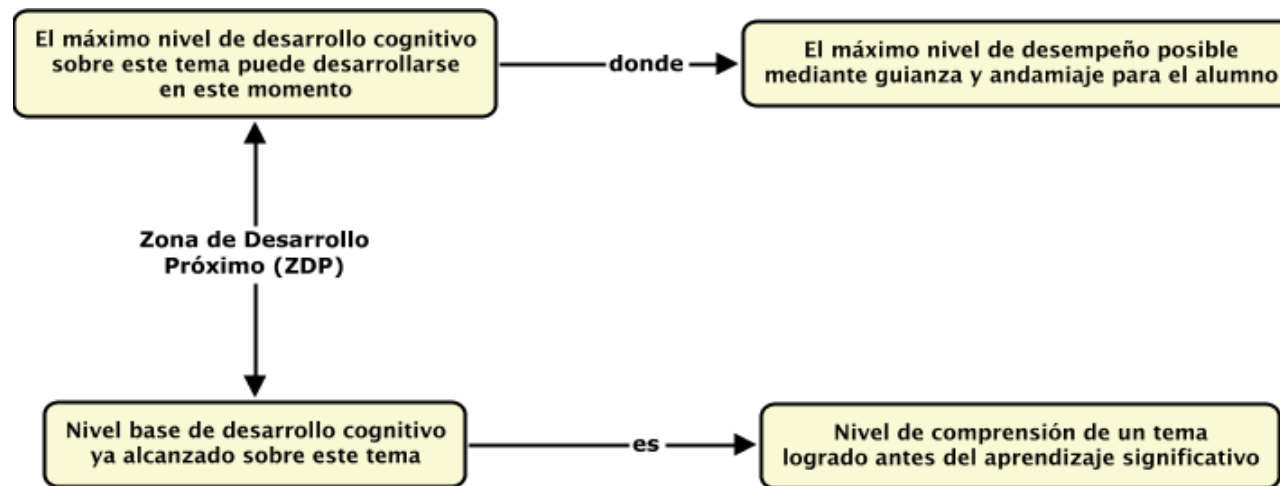


Figura 6. Esquema que muestra la zona de desarrollo próximo de Vygotsky.

La investigación llevada a cabo por Vygotsky mostró que los alumnos podían ser ayudados en su desarrollo cognitivo mediante la interacción con colegas y pares, y mediante guía de parte de adultos. También enfatizó la importancia del lenguaje en el desarrollo cognitivo, una idea precursora del aprendizaje colaborativo que se ha demostrado puede ser útil. En particular se ha demostrado que el desarrollo colaborativo de mapas conceptuales puede facilitar el aprendizaje.

Otra idea que creó del trabajo de Vygotsky es que varias formas de soportes y asistencias pueden proporcionar un "andamiaje" para facilitar el aprendizaje (Berk & Winsler, 1995). Tal vez la forma más sencilla y antigua de andamiaje es la de usar problemas de ejemplo para ilustrar cómo resolver una cierta clase de problemas. Esta clase de ayuda es más efectiva cuando el instructor explicó el/los concepto(s) involucrados en la solución del problema y cómo los diferentes tipos de problemas están relacionados. Los gráficos, tablas, diagramas, videos y otras ayudas también pueden proveer un tipo de andamiaje, siempre y cuando sean presentados de forma que el alumno vea las relaciones entre conceptos y principios. De nuevo, la clave es ayudar al alumno a construir una estructura cognitiva mejor organizada.

### El Problema con los Errores Conceptuales

En el quehacer diario, observamos ciertos patrones o regularidades en objetos o acontecimientos y de las observaciones construimos

nuestros conceptos. Sin embargo, en ocasiones dejamos de observar características o aspectos importantes de los objetos o acontecimientos y construimos conceptos defectuosos o incompletos. Estos conceptos defectuosos han sido llamados errores conceptuales, nociones ingenuas, concepciones alternativas y otros nombres. El problema de sobreponerse a errores conceptuales ha sido mencionado anteriormente en este documento. La característica principal es que con años de aprendizaje, estos conceptos defectuosos se arraigan profundamente en la estructura cognitiva y es muy difícil para el alumno reconocer la estructura defectuosa y reorganizar, modificar, agregar o borrar conceptos y sobreponerse a la estructura defectuosa. La instrucción ordinaria que enseña el "concepto correcto" falla notoriamente al tratar de remediar los defectos y el error conceptual persiste. Una razón de que esto suceda es tanto énfasis en el aprendizaje memorístico, donde los errores conceptuales no son afectados, ya que el aprendiz no se involucra en re-estructurar los conceptos y proposiciones existentes en su estructura cognitiva (Novak, 2002). Las evaluaciones que requieren recordar de memoria la información frecuentemente fallan en detectar errores conceptuales existentes.

Un ejemplo de error conceptual común es creer que, si al tirar una moneda tres o cuatro veces se da siempre la misma cara de la moneda, la próxima vez que se tire la moneda tiene más posibilidad de que se de la otra cara, porque "ya le toca a la otra cara". Si la moneda no es defectuosa, la probabilidad de que se de una cara o la otra la siguiente vez que se tire es siempre 50%. Otro error conceptual común es creer que el verano y el invierno son causados porque el planeta Tierra se acerca o se aleja del sol. En un estudio ampliamente difundido desarrollado en la Universidad de Harvard (Schneps, 1989) con 23 estudiantes de posgrado, exalumnos y profesores, 21 de los 23 pensaban que el verano se da cuando la Tierra está más cerca del Sol, y el invierno cuando la Tierra está más lejos. Este error conceptual puede tener su origen en la experiencia común de que sentimos más calor cuando estamos cerca de una fogata o de un foco o bombilla, y esto es ciertamente el caso. Sin embargo, en el caso de la Tierra, en realidad estamos 3 millones de millas más cerca del Sol cuando es invierno en el hemisferio norte (y verano en el hemisferio sur). La razón de que es más frío en invierno y más caliente en verano es que la Tierra gira alrededor del Sol con su eje de rotación inclinado como 23 grados con el polo norte apuntando hacia el Sol durante el verano en el hemisferio norte y apuntando en la dirección contraria durante el invierno, de manera que en verano los días son más largos y el Sol brilla más directamente en el hemisferio norte. Por supuesto, en el ecuador el efecto de la inclinación del eje es mínima, y por lo tanto las temperaturas varían mucho menos. En Cornell se realizó una serie de cuatro seminarios internacionales sobre errores conceptuales y las memorias de los seminarios se encuentran en: [www.mlrg.org](http://www.mlrg.org).

El problema con los errores conceptuales es que todos mantenemos algunos errores conceptuales en prácticamente todo dominio del conocimiento, y usualmente no reconocemos que tenemos estos errores conceptuales. Vamos aprendiendo cosas nuevas y frecuentemente son nuestros errores conceptuales los que subsumen los nuevos conceptos y proposiciones, haciendo que estos errores conceptuales se vuelvan más estables y más propensos a distorsionar nuestro aprendizaje en el futuro. A través de los años, hemos encontrado en nuestras investigaciones que la mejor forma de ayudar a aprendices a reconocer y remediar sus errores conceptuales es involucrarlos en aprendizaje colaborativo con mapas conceptuales. En todo caso, si queremos lograr altos niveles de aprendizaje significativo con nuestros estudiantes, debemos tener mucho cuidado en ayudarles a reconocer y remediar sus errores conceptuales (Ross et al, 1991; Novak, 2002). Hay que estar conscientes de que esto no es fácil.

## Metacognición

Brevemente, metacognición es pensar sobre el pensamiento (Flavell, 1979, 1987). Las investigaciones han mostrado que los estudiantes que están conscientes de cómo aprenden y supervisan su propio aprendizaje obtienen mejores resultados que estudiantes que no se involucran en esta actividad metacognitiva. La metacognición es una idea compleja que incluye metaaprendizaje, por ejemplo, alumnos que están conscientes de la diferencia entre aprendizaje memorístico y significativo y seleccionan conscientemente el segundo cuando buscan comprender lo que están estudiando estarían utilizando conocimiento de metaaprendizaje. Aprendizaje sobre metaconocimiento implica

volverse consciente de la naturaleza conceptual y proposicional del conocimiento y la necesidad de lograr niveles mayores de aprendizaje significativo para mejorar la creatividad y creación de nuevo conocimiento. Algunas de nuestras investigaciones han mostrado que alumnos que tienen un buen manejo de ideas de metaaprendizaje y metaconocimiento obtienen mejores resultados que sus compañeros que no lo tienen, particularmente en tareas que requieren aplicar el conocimiento en situaciones novedosas (Novak, 1985; Edmondson & Novak, 1992).

A través de los años hemos encontrado que no es suficiente enseñar el contenido de una disciplina. Si queremos que nuestros estudiantes logren altos niveles de comprensión del tema y la habilidad de aplicar el contenido a solución de problemas novedosos, debemos incorporar aprendizaje de metacognición en la enseñanza. La consciencia de la prevalencia de errores conceptuales y un entendimiento de como remediar nuestros propios errores conceptuales es otra forma de metacognición. A como hemos aprendido más sobre el uso de mapas conceptuales en la enseñanza y el aprendizaje, vemos que entender el uso de esta herramienta es talvez el aprendizaje metacognitivo más poderoso que podemos darle a nuestros estudiantes (Novak, 1983). Un alumno que reconoce que el no poder establecer un buen enlace entre dos conceptos puede deberse a un error conceptual sobre uno o ambos conceptos ha logrado un aprendizaje metacognitivo poderoso.

### El Problema de "Situatividad"

Se ha reconocido por muchas décadas que estudiantes que aprenden una idea o procedimiento en un contexto puede que fracasen al aplicar la misma idea o principio a otro contexto. En los años 1980's Lave (1997) publicó estudios donde estudiantes que aprendían a resolver problemas de matemáticas con un conjunto de ejemplos fracasaban en transferir este conocimiento cuando el mismo tipo de problema se les presentaba en otro contexto. Ella llamó este aprendizaje confinado por el contexto situatividad, y la idea se ha vuelto más popular en las últimas dos décadas. Otro aspecto de la situatividad es la idea de que lo que aprendemos y cómo lo aprendemos está confinado por nuestra cultura. El tipo de grupo de colegas o pares o grupo de aprendizaje al que pertenecemos tiene sus propias formas de acercarse al conocimiento y el conocer, que establece restricciones sobre cómo un individuo en el grupo logra significados de sus experiencias. Muchos investigadores han mostrado que este tipo de fracaso al transferir conocimiento a nuevos contextos sucede en muchos campos (ver por ejemplo Greeno 1998).

Desde nuestra perspectiva, los factores más importantes que influyen en el aprendizaje son las estructuras conceptuales y proposicionales que el individuo ha construido. Para supuesto, la cultura de aprendizaje o el medio social en el cual se ha encontrado el individuo va a influir en el tipo de conocimiento adquirido, las connotaciones afectivas asociadas a este conocimiento, y el tipo de jerarquías de conocimiento que el individuo ha construido. Esto se puede ilustrar claramente por individuos que mantienen posiciones políticas fuertes pero opuestas. Ven los mismos datos, pero llegan a conclusiones muy diferentes. No es fácil llevar a individuos de estos dos grupos a una solución diplomática que satisfaga sus metas y necesidades. Lo que hemos encontrado con nuestro trabajo es que los problemas que se derivan de la situatividad pueden resolverse o aliviarse cuando se utilizan los mapas conceptuales para trabajar hacia un entendimiento compartido y comprensivo de las principales ideas involucradas.

### El Problema de la Evaluación

Desde la perspectiva de la Teoría de la Asimilación de Ausubel, debemos evaluar lo que alumno sabe al inicio de una experiencia educativa, y de nuevo al final de la experiencia. Como la historia de experiencias relevantes del alumno también incluye el tipo de actividades en que se involucra y los tipos de sentimientos que ha experimentado, debe darse también algún esfuerzo por evaluar estas experiencias si buscamos optimizar el aprendizaje significativo de nuevos materiales.

La evaluación de lo que el estudiante ya sabe se puede hacer con preguntas de falso y verdadero o escogencia múltiple, y talvez esta es la práctica más común. Sin embargo, se puede lograr mucho mas especificidad si se utilizan los mapas conceptuales como herramientas para pre-evaluación y post-evaluación. Estos no solo revelan los conceptos y proposiciones que el alumno tiene en su estructura cognitiva; los mapas conceptuales también proveen alguna indicación sobre la calidad de la organización de este conocimiento. Proponemos que el mapa conceptual de pre-evaluación sea refinado por el estudiante a como aumente su comprensión del tema mientras estudia la materia. Al utilizar software como CmapTools (Cañas et al, 2004) para construir los mapas conceptuales, la revisión constante de los mapas se hace más fácil. Aún más, a como el estudiante encuentra recursos que le ayudan en su comprensión del tema, tales como páginas Web, vídeos, textos, fotos, gráficos, imágenes y otros medios, estos pueden ser enlazados al mapa para documentar la fuente de su aprendizaje. De esta forma el progreso del estudiante se ve reflejado en sus mapas conceptuales, y el docente puede evaluar el proceso en lugar de confiar en un solo mapa conceptual estático al final. Al construir un portafolio de mapas enlazados, los estudiantes también pueden demostrar cómo han integrado diferentes temas y/o materias.

Por supuesto, no se puede utilizar los mapas conceptuales como herramientas de evaluación a menos que los individuos hayan desarrollado algunas destrezas en el uso de la herramienta. Información detallada sobre evaluación está más allá del ámbito de este documento y para ello hay otras fuentes de información (e.g. Mintzes, et. al, 2000; Pellegrino, et. al., 2001).

A pesar de que no es fácil evaluar los sentimientos del alumno relacionados a un dominio de aprendizaje, al menos debe hacerse un esfuerzo por lograrlo. Por ejemplo, se le puede preguntar a los estudiantes cuan confidentes se sienten sobre diferentes aspectos de su conocimiento, quizás condificando con colores los conceptos o proposiciones del mapa. Con respecto a la evaluación del tipo de actividades que contribuyeron a su conocimiento, los mapas conceptuales que presentan conocimiento procedimental podrían incluir comentarios sobre el tipo de actividades que llevaron a comprender los procedimientos relacionados con los mapas conceptuales. Cualquier esfuerzo para recopilar información de los alumnos sobre sus acciones que involucran aprendizaje y sus sentimientos sobre lo que conocen será beneficioso para los alumnos, otros miembros del equipo del alumno, y para el guía o docente.

## Otras formas de Aprendizaje

### Aprendizaje Icónico

Obviamente nuestros cerebros almacenan más que conceptos proposiciones. También almacenamos imágenes de escenas en las que nos encontramos, personas que conocemos, fotos, y una gran cantidad de otras imágenes. A estas se les denomina memorias icónicas (Sperling, 1960; 1963). Mientras que las imágenes alfanuméricas utilizadas por Sperling en sus estudios eran rápidamente olvidadas, otros tipos de imágenes son retenidas por mucho más tiempo. Nuestros cerebros tienen una capacidad extraordinaria para adquirir y retener imágenes visuales de gente en fotos. Por ejemplo, en un estudio Shepard (1967) presentó 612 fotos de escenas comunes a sujetos experimentales, y luego les pidió cual de dos fotos similares era una de las 612 presentadas anteriormente. Después de la presentación 97% de los sujetos pudieron identificar correctamente la foto que habían visto. Después de tres días contestaron correctamente en un 92%, y luego de tres meses en un 58%. Este y otros estudios han demostrado que los humanos tienen una habilidad extraordinaria para recordar imágenes, a pesar de que pronto olvidan muchos de los detalles en las imágenes. Considerando lo frecuente que vemos los 'pennies' (monedas de 1 ¢) es interesante que en un estudio realizado por Nickerson & Adams (1979) los sujetos a los que se les pidió que dibujaran un penny omitieron más de la mitad de las características o los colocaron en el sitio equivocado. Creemos que integrando varios tipos de imágenes a la estructura conceptual usando CmapTools podría mejorar la memoria icónica, y esperamos que se realicen investigaciones sobre este tema.

### Aprendizaje por Sonidos



La habilidad humana de recordar sonidos es notable. Considere al músico que puede tocar cientos de canciones sin leer ninguna música. De nuevo estamos lidiando con memorias que no están codificadas como conceptos o proposiciones. Los estudios de Pernfield & Perot (1963), entre otros, indican que las regiones de nuestro cerebro que son activadas cuando oímos sonidos son las mismas regiones que se activan cuando recordamos sonidos. Mientras podemos localizar las regiones del cerebro que se activan al aprender o recordar información utilizando escaneos mediante la tomografía por emisión de positrones (TEP), el mecanismo específico mediante el cual los neurones almacenan esta información aún no es conocido. Una discusión de los mecanismos de memoria va más allá del ámbito de este documento.

### Aprendizaje Espacial o Relacional

La mayoría de nosotros recuerda cómo regresar a un sitio que visitamos frecuentemente, pero podemos variar enormemente en nuestra habilidad para recordar una ruta que hemos transitado solamente una vez. De forma similar, hay gran variabilidad en la habilidad de individuos en recordar la distribución de habitaciones en una casa que han visitado, o la posición de muebles en una habitación. Los estudios realizados por Kosslyn (1987) y otros indican que nuestro cerebro codifica al menos dos tipos diferentes de relaciones espaciales. Un tipo lidia con determinar relaciones como "dentro de" o "encima", y el otro lidia con distancias entre objetos. Novak recuerda como su hijo de seis años recordaba la posición de habitaciones y una escalera escondida en la Casa de Siete Tejados (House of the Seven Gables) después de una sola visita, mientras que los otros miembros de la familia no podían. Tal vez por esto es que su hijo es ahora un arquitecto profesional. No sabemos cómo es que nuestros cerebros almacenan este tipo de información.

### Aprendizaje Motor o Kinestésico

Cuando corresponde a batear una pelota o saltar obstáculos, todos estamos conscientes que hay grandes diferencias en el aprendizaje motor o kinestésico de humanos. Este tipo de aprendizaje involucra los músculos de nuestros cuerpos así como nuestras mentes. De muchas formas las habilidades asociadas con un alto rendimiento en deportes o al tocar un instrumento musical son una ilustración excelente de lo importante que es buscar integrar nuestro pensamientos, sentimientos y actuaciones. Hemos encontrados que varios tipos de rendimiento pueden ser mejorados si los conceptos asociados al rendimiento son hechos explícitos mediante mapas conceptuales, y hay un esfuerzo de conciencia en tratar de integrar pensamiento, sentimiento y actuación (Novak & Gowin, 1984).

### Inteligencias Múltiples

Las diferencias obvias entre las habilidades de individuos han sido exploradas por Gardner (1983), quien ha propuesto la Teoría de Inteligencias Múltiples. Su trabajo ha llamado mucho la atención en educación y ha servido para resaltar el gran rango de diferencias en habilidades humanas para varios tipos de aprendizaje y rendimiento. Es bueno que las escuelas estén reconociendo que hay otras capacidades humanas además de recordar información cognitiva específica que frecuentemente es el único tipo de aprendizaje representado en las pruebas de escogencia múltiple usadas en escuelas y corporaciones. Una de las razones que recomendamos la integración de la amplia variedad de actividades representadas en nuestro Nuevo Modelo es para proveer oportunidades para que estas otras habilidades sean representadas y expresadas. No obstante, vemos las oportunidades ofrecidas al asociar las diversas actividades con una estructura explícita de conocimiento como muy beneficiosa. El tiempo dirá si futuras investigaciones confirmarán esta afirmación.

### Referencias y Otras Lecturas

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.
- Baron, L. C. & E. S. Goldman. (1994). Integrating Technology with Teacher Preparation. pp. 81–110 in *Technology and Educational Reform*. B. Means (ed.). San Francisco: Jossey Bass.
- Bartlett, Frederick C.. (1932). *Remembering*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Berk, L. E. & A. Winsler. (1995). *Scaffolding Children's Learning: Vygotsky and Early Childhood Education*. Washington, D.C.: National Association for Education of Young Children.
- Bransford, J., A. L. Brown, et al. (Eds.) (1999). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. Washington, D.C., National Academy Press.
- Cañas, A. J., G. Hill, et al. (2004). CmapTools: A Knowledge Modeling and Sharing Environment. *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology*. Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping. A. J. Cañas, J. D. Novak and F. M. González. Pamplona, Spain, Universidad Pública de Navarra. I: 125–133.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge. MA: MIT Press.
- Chi, M. T. H. (1983). Network Representation of a Child's Dinosaur Knowledge. *Developmental Psychology*, 19 (1), 29–39.
- Crowder, R. G. (1982). Decay of Auditory Memory in Vowel Discrimination. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 8, 153–162.
- Donaldson, M. C. (1978). *Children's Minds*. New York: Norton.
- Edmondson, K., & J. D. Novak. (1992). Toward an Authentic Understanding of Subject Matter. In Skip Hills (ed.), *The History and Philosophy of Science in Science Education*, Vol. 1 (pp. 253–263). Kingston, Ontario, Canada: Queen's University, Faculty of Education, and the Mathematics, Science, Technology and Teacher Education Group.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and Cognitive Monitoring: A New Area of Cognitive–Developmental Inquiry. *American Psychologist*, 34, 906–911.
- Flavell, J. H. (1987). Speculations about the Nature and Development of Metacognition. In F. E. Weinert & R. H. Kluwer (Eds.), *Metacognition, Motivation and Understanding* (pp. 21–29). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gardner, H. (1983). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. New York: Basic Books.
- Gelman, S. A. (1999). Dialogue on Early Childhood Science, Mathematics, and Technology Education: A Context for Learning. *Concept Development in Preschool Children*. Retrieved Sept. 20, 2009, from <http://www.project2061.org/publications/earlychild/online/context/gelman.htm>.
- Greeno, J. G. (1998). The Situativity of Knowing, Learning, and Research. *American Psychologist*, Vol. 53, No. 1: 5–26 January.

- Kosslyn, S. M. (1987). Seeing and Imagining in the Cerebral Hemispheres: A Computational Approach. *Psychological Review*, 94, 148–175.
- Lave, J. (1997). The Culture of Acquisition and the Practice of Understanding", In D. Kirshner & J. A. Whitson (Eds) *Situated Cognition: Social, Semiotic and Psychological Perspectives* (pp.63–82). Mahwah, N.J.: Erlbaum.
- Mandler, G. (1967). Verbal Learning: Introduction. In *New Directions in Psychology III.* by G. Mandler, P. Mussen, K. Kogan, and M.A. Wallach. (pp. 3–50) New York: Holt, Rhinehart, and Winston.
- Miller, G. (2007). A Surprising Connection between Memory and Imagination. *Science*, 315:312, Jan. 19.
- Mintzes, J. J., J. H. Wandersee, et al. (2000). *Assessing Science Understanding: A Human Constructivist View*. San Diego, Academic Press.
- Nickerson, R. S & M. J. Adams. (1997). Long-Term Memory for a Common Object. *Cognitive Psychology*, 11:287–307.
- Novak, J. D. (1983). Can Metalearning and Metaknowledge Strategies to Help Students Learn How to Learn Serve as a Basis for Overcoming Misconceptions? In H. Helm & J. D. Novak (Eds.), *Proceedings of the International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics* (pp. 118–130). Ithaca, NY: Cornell.
- Novak, J. D. (1985). Metalearning and Metaknowledge Strategies to Help Students Learn How to Learn. In L. H. T. West & A. L. Pines (eds.), *Cognitive Structure and Conceptual Change* (pp. 189–209). (In the Educational Psychology Series.) Orlando, FL: Academic Press.
- 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. (2005). Results and implications of a 12-year Longitudinal Study of Science Concept Learning. *Science Education*, 35(1): 23–40.
- Novak, J. D. & D. B. Gowin (1984). *Learning How to Learn*. New York, NY, Cambridge University Press.
- Novak, J. D. & D. Musonda. (1991). A Twelve-Year Longitudinal Study of Science Concept Learning. *American Educational Research Journal* 28(1): 117–153.
- Pavlov, I. P. (1927). *Conditioned Reflexes: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex*. Translated and Edited by G. V. Anrep. London: Oxford University Press. Available online: <http://psychclassics.yorku.ca/Pavlov/>.
- Pellegrino, J. W., N. Chudowske & R. Glaser. (2001). *Knowing What Students Know: The Science and Design of Educational Assessment*. Washington, DC: National Academy Press.
- Penfield, W. & P. Perot. (1963) *Brain*. 86, 595–697.
- Piaget, J. (1926). *The Language and Thought of the Child*. New York: Harcourt Brace.
- Ross, B. et. al. (1991). Concept Mapping and Misconceptions: a Study of High-School Students' in Understanding of Acids and Bases. *International Journal of Science Education*, 13(1), 11–23. (\*\*\*) check reference(\*\*\*)
- Schneps, M. (1989). *The Private Universe Project*. Cambridge MA: Smithsonian Center for Astrophysics.

Shepard (1967). Recognition memory for words, sentences, and pictures. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6, 156–163.

Sperling, G. (1960). The Information Available in Brief Visual Presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, 74(11), 1–30.

Sperling, G. (1963). A Model for Visual Memory Tasks. *Human Factors*, 5, 19–31.

Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and Language*. Cambridge, MA: MIT Press (edited and translated by E. Hanfmann and G. Vakar).

---

Última actualización: 12 de enero 2010