



Estudios Pedagógicos

ISSN: 0716-050X

eped@uach.cl

Universidad Austral de Chile  
Chile

Salas Silva, Raúl

¿LA EDUCACION NECESITA REALMENTE DE LA NEUROCIENCIA?

Estudios Pedagógicos, núm. 29, 2003, pp. 155-171

Universidad Austral de Chile

Valdivia, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173514130011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ENSAYOS

*¿LA EDUCACION NECESITA REALMENTE DE LA NEUROCIENCIA?*

Does education really need Neuroscience?

*Prof. Raúl Salas Silva*

Olmos 081, Limache, Chile. E-mail: resalass@terra.cl

**Resumen**

Este artículo se refiere a los siguientes aspectos del tema "Educación y Neurociencia": El estado actual de la Neurociencia y de los resultados de la misma que son aplicables a la educación. La teoría del aprendizaje basado en el cerebro o compatible con el cerebro. Las implicaciones y aplicaciones de esta teoría para el currículo, la enseñanza y la evaluación. La actitud que se debe asumir en el ámbito educativo frente a la Neurociencia o a los resultados de la investigación del cerebro. Se concluye que la educación tiene que cambiar de un modelo conductista a otro compatible con el cerebro cuanto antes.

*Palabras claves:* educación, neurociencia, cerebro, aprendizaje, enseñanza, investigación-acción.

**Abstract**

This paper addresses the following aspects of Education and Neuroscience: present condition of Neuroscience and its findings applicable to education brain compatible learning theory, its implications and applications to curriculum, teaching and assessment; attitude to deal with Neuroscience and brain research findings.

Conclusion: education needs to change from a behavioral model to brain compatible model as soon as possible.

*Key words:* education, neuroscience, brain, learning, teaching, action research.

**INTRODUCCION**

Lo que me ha decidido a escribir este artículo es la preocupación por que los profesores tomen conciencia de la necesidad de que conozcan más sobre el cerebro y de que manejen más información sobre cómo funciona este órgano para que así desarrollen una enseñanza, un ambiente escolar, un currículo, una evaluación más acordes con las características intrínsecas e innatas de nuestros cerebros para aprender o, en otras palabras, más compatibles con la manera como aprende nuestro cerebro.

En este artículo trataremos, en primer lugar, de presentar un cuadro sólo ilustrativo del estado actual de la Neurociencia y de los resultados de la misma que son aplicables a la educación.

Analizaremos luego la teoría del aprendizaje basada en el cerebro o compatible con él. Enseguida veremos las implicaciones y aplicaciones de esta teoría para el currículo, la enseñanza y la evaluación. De un modo particular nos detendremos en los principios del aprendizaje del cerebro y en otros principios para el diseño de un ambiente compatible con el cerebro. Y procuraremos responder a la pregunta: ¿Cómo pasar de la teoría e investigación del cerebro a la práctica en el aula y a las políticas educacionales?

En cuarto lugar nos referiremos a cuál debe ser la actitud a asumir en el ámbito educativo frente a la Neurociencia, o a los resultados de la investigación del cerebro y, en consecuencia, cómo afrontar el desafío que les plantea a los educadores la investigación del cerebro. Y terminaremos con una conclusión.

## ESTADO ACTUAL DE LA NEUROCIENCIA

*¿Qué es Neurociencia?* La Neurociencia no sólo no debe ser considerada como una disciplina, sino que es el conjunto de ciencias cuyo sujeto de investigación es el sistema nervioso con particular interés en cómo la actividad del cerebro se relaciona con la conducta y el aprendizaje. El propósito general de la Neurociencia, declaran Kandel, Schwartz y Jessell (1997), es entender cómo el encéfalo produce la marcada individualidad de la acción humana.

El término “Neurociencias”, afirma Beiras (1998), hace referencia a campos científicos y áreas de conocimiento diversas, que, bajo distintas perspectivas de enfoque, abordan los niveles de conocimiento vigentes sobre el sistema nervioso. Es, por tanto, una denominación amplia y general, toda vez que su objeto es extraordinariamente complejo en su estructura, funciones e interpretaciones científicas de ambas. Se hace Neurociencia, pues, desde perspectivas totalmente básicas, como la propia de la Biología Molecular, y también desde los niveles propios de las Ciencias Sociales. De ahí que este constructo involucre ciencias tales como: la neuroanatomía, la fisiología, la biología molecular, la química, la neuroinmunología, la genética, las imágenes neuronales, la neuropsicología, las ciencias computacionales. El funcionamiento del cerebro es un fenómeno múltiple, que puede ser descrito a nivel molecular, celular, organizacional del cerebro, psicológico y/o social. La Neurociencia representa la suma de esos enfoques.

Según Sylwester (1995), la neurociencia ha pasado a ser el mayor campo de investigación durante los últimos 25 años. La Neurociencia, se lee en la página Web de Neuroscience, Mind y Behavior, representa indiscutiblemente uno de los más vibrantes campos de investigación de la ciencia en la actualidad.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que la Neurociencia se caracteriza por un cierto tipo de reduccionismo. Así, por ejemplo, se lee en una página Web del Center for Neuroscience, Mind y Behavior (2000) que su principal objetivo de investigación en Neurociencia es ofrecer una comprensión mecanicista de la conducta de todo el organismo, un nivel de análisis más allá de las moléculas, células o circuitos individuales. Es que, como sostienen Caine y Caine (1998), los investigadores en Neurociencia trabajan a un nivel mecanicista y reduccionista. Pero también abordan mecanismos, funciones o conductas cognoscitivas. Aquí figuran la sicología cognoscitiva, la lingüística, la antropología física, la filosofía y la inteligencia artificial (Sylwester 1995).

Pero, habida cuenta de esta consideración, hay que reconocer, siguiendo a Geake (2002), que si el aprendizaje es el concepto principal de la educación, entonces algunos de los descubrimientos de la Neurociencia pueden ayudarnos a entender mejor los procesos de aprendizaje de nuestros alumnos y, en consecuencia, a enseñarles de manera más apropiada, efectiva y agradable. En ese sentido se entiende la afirmación de Wolfe (2001) de que el descubrimiento más novedoso en educación es la Neurociencia o la investigación del cerebro, un campo que hasta hace poco era extraño a los educadores.

Los avances en Neurociencia han confirmado posiciones teóricas adelantadas por la psicología del desarrollo por años, tales como la importancia de la experiencia temprana en el desarrollo. Lo nuevo es la *convergencia* de evidencias de diferentes campos científicos. Detalles acerca del aprendizaje y el desarrollo han convergido para formar un cuadro más completo de cómo ocurre el desarrollo intelectual.

La clarificación de algunos de los mecanismos del aprendizaje por la Neurociencia ha sido mejorada por la llegada de tecnologías de imágenes no invasivas. Entre estas habría que mencionar: el escaneo de CAT, el Magnetic Resonance Imaging (MRI) y los Espectrómetros. El Electroencefalograma (EEG); la MEG (Magnetoencefalografía); el SQUID (instrumento de interferencia cuántica superconductora) y el BEAM (Mapeo de la Actividad Eléctrica Cerebral). Y la Tomografía por emisión de positrones (PET).

Estas tecnologías han permitido a los investigadores observar directamente los procesos del aprendizaje humano, por lo menos desde un punto de vista mecanicista.

Algunos descubrimientos fundamentales de la Neurociencia, que están expandiendo el conocimiento de los mecanismos del aprendizaje humano, son:

1. El aprendizaje cambia la estructura física del cerebro.
2. Esos cambios estructurales alteran la organización funcional del cerebro; en otras palabras, el aprendizaje organiza y reorganiza el cerebro.
3. Diferentes partes del cerebro pueden estar listas para aprender en tiempos diferentes.
4. El cerebro es un órgano dinámico, moldeado en gran parte por la experiencia. La organización funcional del cerebro depende de la experiencia y se beneficia positivamente de ella (Bransford, Brown y Cocking 2000). Sylwester (1995) precisa más esto al sostener que el cerebro es moldeado por los genes, el desarrollo y la experiencia, pero él moldea sus experiencias y la cultura donde vive.
5. El desarrollo no es simplemente un proceso de desenvolvimiento impulsado biológicamente, sino que es también un proceso activo que obtiene información esencial de la experiencia.

En resumen, la Neurociencia está comenzando a dar algunas iluminaciones (insights), si no respuestas finales, a preguntas de gran interés para los educadores.

Sierra y Sierra (2000), empero, a propósito de los significativos avances en el campo de la neurofisiología del aprendizaje y de la memoria, advierten que todos esos datos, que nos aproximan a la comprensión del “lenguaje máquina” del cerebro, son muy difíciles de relacionar con las sofisticadas características del aprendizaje humano.

Jensen (2000a) aporta toda una lista muy esquemática pero clara de descubrimientos recientes en Neurociencia que se pueden aplicar en clase y de temas que tienen importantes implicaciones para el aprendizaje, la memoria, las escuelas y el desarrollo del cuerpo docente directivo de los establecimientos escolares:

- El cerebro que crece: el cerebro humano puede hacer crecer nuevas células.
- El cerebro social: las interacciones y el estado social impactan los niveles de hormonas.
- El cerebro hormonal: las hormonas pueden y de hecho impactan el conocimiento.
- El cerebro que se mueve: el movimiento influye en el aprendizaje.
- El cerebro plástico: dado un mejor enriquecimiento del cerebro para realzarse, éste cambia.
- El cerebro espacial: cómo trabajan el espacio, el aprendizaje relacional y la recordación espacial.
- El cerebro atencional: cómo el córtex prefrontal dirige realmente la atención y déficits atencionales.
- El cerebro emocional: cómo las amenazas y las hormonas afectan la memoria, las células y genes.
- El cerebro adaptativo: cómo la aflicción, el cortisol y los estados alostáticos impactan en el aprendizaje.
- El cerebro paciente: el rol del tiempo en el proceso de aprendizaje.
- El cerebro computacional: el rol de la retroalimentación en la formación de las redes neurales.
- El cerebro artificioso: cómo las artes y la música afectan al cerebro y la conducta.
- El cerebro conectado: cómo nuestro cerebro es cuerpo y el cuerpo es cerebro; cómo trozos de información cerebral circulan a través de nuestro cuerpo.
- El cerebro en desarrollo: cómo optimizar el valor de los tres primeros años sabiendo qué hacer y cuándo hacerlo.
- El cerebro hambriento: el rol de la nutrición en el aprendizaje y la memoria; cuáles son los mejores alimentos, ¿qué comer?
- El cerebro memorable: cómo nuestras memorias son codificadas y recuperadas.
- El cerebro químico: qué hacen determinados químicos y cómo activar los correctos.

Sylwester (1995), al hablar de los modelos del cerebro que están más en boga, trae a colación el pensamiento de Edelman al respecto. Si bien, dice Sylwester, el modelo más prevalente y atrayente del cerebro que existe es el computador, según Edelman; empero, el computador no es el modelo apropiado de cerebro, porque es desarrollado, programado y funciona con una fuerza externa. Las razones que arguye para rechazar este modelo son que muchas memorias se almacenan en los mismos sitios donde se realizan las operaciones actuales. Además, el poderoso rol de las emociones y la preponderancia del procesamiento en paralelo de nuestro cerebro le sugirieron a Edelman que el modelo útil para nuestro cerebro debe provenir de la biología y no de la tecnología. Ateniéndose a este enfoque, en consecuencia, declara que la dinámica electroquímica del cerebro se parece a la ecología de un ambiente selvático. Este no instruye a los organismos sobre cómo deben actuar. La evolución actúa por selección, no por instrucción.

#### LA TEORIA DEL APRENDIZAJE BASADO EN EL CEREBRO O COMPATIBLE CON EL CEREBRO: ORIGENES, FILOSOFIA, CARACTERISTICAS

Según Sprenger (1999), hace más de 25 años que los educadores han estado buscando una teoría que pueda traducirse en una aplicación práctica en la sala de clases. La

primera teoría de la investigación del cerebro fue la del cerebro derecho/cerebro izquierdo, la que para los educadores fue por largo tiempo equivalente a todo lo que se sabía sobre el cerebro (Dickinson 2000-2002). Sin embargo, hace ya 17 años, Hart (1986) sostenía que hasta ese entonces la educación nunca había tenido una teoría adecuada del aprendizaje. Según ella, tal teoría debería referirse al cerebro, y sólo en esos últimos años se había llegado a una comprensión holística necesaria del cerebro para establecer tal teoría. En base, pues, a esos conocimientos, planteó ella la *teoría del aprendizaje compatible con el cerebro*.

¿Qué significa el término “compatible con el cerebro”? El término “compatible con el cerebro” fue usado por primera vez por Hart (1983) en su libro *Human Brain, Human Learning*, y se basó en su observación de que, dado lo que se sabía de la investigación del cerebro, la estructura del enfoque tradicional de enseñanza y de aprendizaje era “opuesta al cerebro”. Su hipótesis era que la enseñanza compatible con el cerebro, en un ambiente sin amenazas que permitiera un uso desinhibido de la espléndida neocorteza o “nuevo cerebro”, tendría como resultado un aprendizaje, un clima y una conducta mucho mejores. Y declaraba enfáticamente que para que la educación fuera realmente “compatible con el cerebro” debía ocurrir un cambio en el paradigma de enseñanza-aprendizaje.

Esta teoría del aprendizaje se deriva de los estudios fisiológicos de cómo el cerebro aprende mejor (Lawson 2001). Su fundamento está, pues, en la estructura y funcionamiento del cerebro (Purpose Associates 1998-2001).

Según Atakent y Akar (2001) el aprendizaje basado en el cerebro es el actual paradigma que se deduce de la investigación del mismo para explicar los principios de aprendizaje con que trabaja.

Jensen (2000b) va más al grano cuando expresa que el aprendizaje basado en el cerebro es un proceso basado en la información del uso de un grupo de estrategias prácticas que son dirigidas por principios sólidos derivados de la investigación del cerebro.

Pero no todos están de acuerdo con que se usen los términos “aprendizaje basado en el cerebro”, pues según Cohen (1995) y Yero (2001-2002) el aprendizaje siempre ha sido “basado en el cerebro”; todo aprendizaje, de cualquier tipo en la escuela, está “basado en el cerebro”, de tal modo que el término como tal no tiene sentido. En consecuencia, es mejor y no se presta a equívocos utilizar los términos de “compatible con el cerebro”. Y así se puede hablar de enseñanza escolar, de currículo o de evaluación compatibles con el cerebro o no.

#### IMPLICACIONES Y APLICACIONES DE LA TEORIA DEL APRENDIZAJE COMPATIBLE CON EL CEREBRO PARA EL CURRÍCULO, LA ENSEÑANZA Y LA EVALUACION: LOS PRINCIPIOS DEL APRENDIZAJE DEL CEREBRO

Como cualquier teoría que se precie de tal, el aprendizaje compatible con el cerebro tiene también sus principios.

La lista que figura a continuación, que fue publicada por primera vez por Caine y Caine en 1989, ha sido extraída de una publicación de dichos autores del año 1997; esta lista, sin embargo, se ha ido reformando, reestructurando y poniendo al día periódicamente. En razón de la brevedad, hemos preferido mantener la lista de años atrás.

El principal objetivo de estos autores fue sintetizar la investigación proveniente de muchas disciplinas en un conjunto de principios de aprendizaje del cerebro que sirvieran de fundamento para pensar acerca del aprendizaje. Los principios dejan sitio para la continua nueva información que provenga de campos tales como la Neurociencia, la psicología cognoscitiva, la teoría del estrés y la creatividad. Los principios incluyen también perspectivas de las nuevas ciencias y lo mejor que sabemos de la práctica y de la amplia experiencia humana (Caine y Caine 2003).

#### LOS PRINCIPIOS DE APRENDIZAJE DEL CEREBRO (CAINE Y CAINE 1997)

- Principio 1. *El cerebro es un complejo sistema adaptativo*: tal vez una de las características más poderosas del cerebro es su capacidad para funcionar en muchos niveles y de muchas maneras simultáneamente. Pensamientos, emociones, imaginación, predisposiciones y fisiología operan concurrente e interactivamente en la medida en que todo el sistema interactúa e intercambia información con su entorno. Más aún, hay emergentes propiedades del cerebro como un sistema total que no pueden ser reconocidas o entendidas cuando sólo se exploran las partes separadamente.
- Principio 2. *El cerebro es un cerebro social*: durante el primer y segundo año de vida fuera del vientre materno, nuestros cerebros están en un estado lo más flexible, impresionable y receptivo como nunca lo estarán. Comenzamos a ser configurados a medida que nuestros receptivos cerebros interactúan con nuestro temprano entorno y relaciones interpersonales. Está ahora claro que a lo largo de nuestra vida, nuestros cerebros cambian en respuesta a su compromiso con los demás, de tal modo que los individuos pueden ser siempre vistos como partes integrales de sistemas sociales más grandes. En realidad, parte de nuestra identidad depende del establecimiento de una comunidad y del hallazgo de maneras para pertenecer a ella. Por lo tanto, el aprendizaje está profundamente influido por la naturaleza de las relaciones sociales dentro de las cuales se encuentran las personas.
- Principio 3. *La búsqueda de significado es innata*: en general, la búsqueda de significado se refiere a tener un sentido de nuestras experiencias. Esta búsqueda está orientada a la supervivencia y es básica para el cerebro humano. Aunque las maneras como tenemos un sentido de nuestra experiencia cambia a lo largo del tiempo, el impulso central a hacerlo dura toda la vida. En lo esencial, nuestra búsqueda de significado está dirigida por nuestras metas y valores. La búsqueda de significado se ordena desde la necesidad de alimentarse y encontrar seguridad, a través del desarrollo de las relaciones y de un sentido de identidad, hasta una exploración de nuestro potencial y búsqueda de lo trascendente.
- Principio 4. *La búsqueda de significado ocurre a través de "pautas"*: entre las pautas incluimos mapas esquemáticos y categorías tanto adquiridas como innatas. El cerebro necesita y registra automáticamente lo familiar, mientras simultáneamente busca y responde a nuevos estímulos. De alguna manera, por lo tanto, el cerebro es tanto científico como artista, tratando de discernir y entender pautas a medida que ocurren y dando expresión a pautas únicas y creativas propias. El cerebro se resiste a que se le impongan cosas sin significado. Por cosas sin significado entendemos trozos aislados de información no relacionados con lo que tiene sentido o es impor-

tante para un aprendiz en particular. Una educación efectiva debe darles a los alumnos la oportunidad de formular sus propias pautas de entendimiento.

- Principio 5. *Las emociones son críticas para la elaboración de pautas*: lo que aprendemos es influido y organizado por las emociones y los conjuntos mentales que implican expectativas, inclinaciones y prejuicios personales, autoestima, y la necesidad de interacción social. Las emociones y los pensamientos se moldean unos a otros y no pueden separarse. Las emociones dan color al significado. Las metáforas son un ejemplo de ello. Por lo tanto, un clima emocional apropiado es indispensable para una sana educación.
- Principio 6. *Cada cerebro simultáneamente percibe y crea partes y todos*: si bien la distinción entre “cerebro izquierdo y cerebro derecho” es real, no expresa todo lo que es el cerebro. En una persona sana, ambos hemisferios interactúan en cada actividad. La doctrina del “cerebro dual” es útil más bien, porque nos recuerda que el cerebro reduce la información en partes y percibe la totalidad al mismo tiempo. La buena capacitación y educación reconocen esto, por ejemplo, introduciendo proyectos e ideas naturalmente “globales” desde el comienzo.
- Principio 7. *El aprendizaje implica tanto una atención focalizada como una percepción periférica*: el cerebro absorbe información de lo que está directamente consciente, y también de lo que está más allá del foco inmediato de atención. De hecho, responde a un contexto sensorial más grande que aquel en que ocurre la enseñanza y la comunicación. “Las señales periféricas” son extremadamente potentes. Incluso las señales inconscientes que revelan nuestras actitudes y creencias interiores tienen un poderoso efecto en los estudiantes. Los educadores, por lo tanto, pueden y deben prestar una gran atención a todas las facetas del entorno educacional.
- Principio 8. *El aprendizaje siempre implica procesos conscientes e inconscientes*: si bien un aspecto de la conciencia es consciente, mucho de nuestro aprendizaje es inconsciente, es decir, que la experiencia y el input sensorial son procesados bajo el nivel de conciencia. Puede, por tanto, ocurrir que mucha comprensión *no* se dé durante la clase, sino horas, semanas o meses más tarde. Los educadores deben organizar lo que hacen para facilitar ese subsiguiente procesamiento inconsciente de la experiencia por los estudiantes. ¿Cómo? Diseñando apropiadamente el contexto, incorporando la reflexión y actividades metacognoscitivas, y proporcionando los medios para ayudar a los alumnos a explayar creativamente ideas, habilidades y experiencia. La enseñanza en gran medida se convierte en un asunto de ayudar a los alumnos a hacer visible lo invisible.
- Principio 9. *Tenemos al menos dos maneras de organizar la memoria*: tenemos un conjunto de sistemas para recordar información relativamente no relacionada (sistemas taxonómicos). Esos sistemas son motivados por premio y castigo, y también tenemos una memoria espacial/autobiográfica que no necesita ensayo y permite por “momentos” el recuerdo de experiencias. Este es el sistema que registra los detalles de su fiesta de cumpleaños. Está siempre comprometido, es inagotable y lo motiva la novedad. Así, pues, estamos biológicamente implementados con la capacidad de registrar experiencias completas. El aprendizaje significativo ocurre a través de una combinación de ambos enfoques de memoria. De ahí que la información significativa y la insignificante se organicen y se almacenen de manera diferente.



- Principio 10. *El aprendizaje es un proceso de desarrollo*: el desarrollo ocurre de muchas maneras. En parte, el cerebro es “plástico”, lo que significa que mucho de su alambreado pesado es moldeado por la experiencia de la persona. En parte, hay predeterminadas secuencias de desarrollo en el niño, incluyendo las ventanas de oportunidad para asentar la estructura básica necesaria para un posterior aprendizaje. Tales oportunidades explican por qué las lenguas nuevas, como también las artes, deben ser introducidas a los niños muy temprano en la vida. Y, finalmente, en muchos aspectos, no hay límite para el crecimiento ni para las capacidades de los seres humanos para aprender más. Las neuronas continúan siendo capaces de hacer y reforzar nuevas conexiones a lo largo de toda la vida.
- Principio 11. *El aprendizaje complejo se incrementa por el desafío y se inhibe por la amenaza*: el cerebro aprende de manera óptima –hace el máximo de conexiones– cuando es desafiado apropiadamente en un entorno que estimula el asumir riesgos. Sin embargo, se encoge o se “bajonea” ante una amenaza percibida. Se hace entonces menos flexible y revierte a actitudes y procedimientos primitivos. Es por eso que debemos crear y mantener una atmósfera de alerta relajada, lo que implica baja amenaza y alto desafío. La baja amenaza no es, sin embargo, sinónimo de simplemente “sentirse bien”. El elemento esencial de una amenaza percibida es un sentimiento de desamparo o fatiga. La tensión y ansiedad originales son inevitables y deben esperarse en un aprendizaje genuino. Esto se debe a que el genuino aprendizaje implica cambios que llevan a una reorganización del sí. Tal aprendizaje puede estar intrínsecamente lleno de tensiones, prescindiendo de la habilidad o del soporte ofrecido por el profesor.
- Principio 12. *Cada cerebro está organizado de manera única*: todos tenemos el mismo conjunto de sistemas y, sin embargo, todos somos diferentes. Algunas de estas diferencias son una consecuencia de nuestra herencia genética. Otras son consecuencia de experiencias diferentes y entornos diferentes. Las diferencias se expresan en términos de estilos de aprendizaje, diferentes talentos e inteligencias, etc. Un importante corolario es apreciar que los alumnos son diferentes y que necesitan elegir, mientras están seguros que están expuestos a una multiplicidad de inputs. Las inteligencias múltiples y vastos rangos de diversidad son, por lo tanto, características de lo que significa ser humano.

Lackney (1998), como corolario de los principios del aprendizaje del cerebro recién expuestos, plantea una serie de principios para diseñar la escuela, a fin de que ésta sea compatible con el cerebro:

1. Unir la literatura de la Neurociencia con las interpretaciones de los principios del aprendizaje basado en el cerebro.
2. Facilitar las implicaciones. Los principios que forman el cerebro se basan directamente en lo que sabemos de neurofisiología del cerebro y de entornos óptimos de aprendizaje.
3. Hacer un lugar no es lo mismo que distribuir un espacio. Los entornos óptimos de aprendizaje deben ser enfocados holísticamente, incluyendo tanto el ambiente físico como el entorno social, organizacional, pedagógico y emocional.

4. El diseño de entornos de aprendizaje basado en el cerebro requiere que transformemos nuestro pensamiento tradicional basado en disciplinas o asignaturas en maneras interdisciplinarias.

#### ¿COMO PASAR DE LA TEORIA E INVESTIGACION DEL CEREBRO A LA PRACTICA EN EL AULA Y A LAS POLITICAS EDUCACIONALES?

Caine y Caine (1997) sostienen que hay tres elementos interactivos de enseñanza que emergen de sus principios y que pueden perfectamente aplicarse en el proceso de aprendizaje-enseñanza:

1. Inmersión orquestada en una experiencia compleja: crear entornos de aprendizaje que sumerjan totalmente a los alumnos en una experiencia educativa.
2. Estado de alerta relajado: eliminar el miedo en los alumnos, mientras se mantiene un entorno muy desafiante.
3. Procesamiento activo: permitir que el alumno consolide e interiorice la información procesándola activamente.

En consecuencia, para crear entornos enriquecidos que ayuden a los estudiantes a aprender, los profesores tienen que tratar de comprometer las siguientes capacidades de aprendizaje que tienen todos los alumnos.

Para crear un estado de alerta relajado:

- Reduzca la amenaza y mejore la autoeficacia.
- Comprometa la interacción social.
- Comprometa la búsqueda innata de significado.
- Comprometa las conexiones emocionales.

Para crear una inmersión orquestada en una experiencia compleja:

- Comprometa la fisiología en el aprendizaje.
- Comprometa tanto la habilidad para centrar la atención como para aprender de un contexto periférico.
- Reconozca y comprometa las etapas y los cambios de desarrollo.
- Comprometa el estilo individual de los alumnos y su unicidad.
- Comprometa la capacidad para reconocer y dominar pautas esenciales.

Para crear un procesamiento activo:

- Comprometa la habilidad para percibir tanto las partes como el todo.
- Comprometa tanto el procesamiento consciente como el inconsciente.
- Comprometa la capacidad para aprender a partir de la memorización de hechos aislados y de eventos biográficos.

Según Purpose Associates (1998-2001), la aplicación de la teoría del aprendizaje compatible con el cerebro impacta a la educación en tres aspectos fundamentales:

**Currículo:** los profesores deben diseñar el aprendizaje centrado en los intereses del alumno y hacer un aprendizaje contextual.

**Enseñanza:** los educadores deben permitirles a los alumnos que aprendan en grupos y usen el aprendizaje periférico. Los profesores que estructuran el aprendizaje alrededor de problemas reales, estimulan también a los estudiantes a aprender en entornos fuera de la sala de clase y fuera de la escuela.

**Evaluación:** ya que los alumnos están aprendiendo, su evaluación debería permitirles entender sus propios estilos de aprendizaje y sus preferencias. De esa manera, los alumnos supervisan y mejoran sus procesos de aprendizaje.

Y luego se preguntan: ¿Qué sugiere el aprendizaje basado en el cerebro?  
Sugiere que los profesores deben ayudar a los alumnos a que tengan experiencias apropiadas y saquen provecho de esas experiencias.

Caine y Caine (2003) dicen que para pasar de la teoría de la investigación del cerebro a la práctica escolar, lo primero que hay que hacer es partir repensando la escuela: repensar todos los aspectos de la educación, desde el rol del profesor a la naturaleza de la evaluación.

Lo que realmente transformaría la escuela, asevera por su parte Yero (2001-2002), es plantearse esta pregunta: ¿Cómo pueden ser las escuelas más compatibles con la manera como los seres humanos aprenden?

Los investigadores de Purpose Associates (1998-2001) adelantan posibles soluciones prácticas a este respecto: los planificadores de recursos educacionales deben ser artistas para crear entornos compatibles con el cerebro. Los profesores deben entender que la mejor manera de aprender no es por la clase expositiva, sino participando en entornos reales que permitan ensayar cosas nuevas con seguridad.

Lawson (2001) afirma que el diseñar la enseñanza compatible con el cerebro es un verdadero desafío para nuestra profesión. El desafío consiste en crear un nuevo paradigma que ajuste el aprendizaje natural con las tecnologías de punta. Analizar las discrepancias entre las actuales prácticas de enseñanza y las óptimas prácticas de aprendizaje. No hay que responder por qué no se puede hacer, sino más bien *cómo se puede hacer*. A futuro seremos no diseñadores de enseñanza, sino diseñadores de aprendizaje.

Sylwester (1995) se pregunta: ¿Cómo desarrollar un ambiente de aprendizaje orientado ecológicamente para un cerebro involucrado ecológicamente?

El desafío para los profesores, afirma Sylwester (1995), es definir, crear, mantener un ambiente y currículo escolar estimulantes emocional e intelectualmente. Y presenta algunos ejemplos de cómo deberían ser los tres modelos interactivos de ambientes educativos:

*El ambiente natural:* ya que no es posible educar a los alumnos en un ambiente totalmente fuera de la escuela, deberíamos al menos organizar el currículo alrededor de simulaciones de clase, juego de roles, salidas a terreno, y otras actividades que se asemejen más a las experiencias y a los desafíos de solución de problemas del mundo natural.

Los programas extracurriculares acercan más al mundo real que cualquier otra cosa en la escuela. Usan metáfora, juego, una moderada dominación de un adulto, en un medio no amenazante e informal para explorar las dimensiones, tácticas y estrategias de solución de problemas.

*El ambiente de laboratorio y de sala de clases:* cuando las ratas adultas fueron puestas en un ambiente rico con un grupo de ratas jóvenes (el autor se está refiriendo a los experimentos de Diamond (1988) para estudiar el desarrollo del cerebro), las adultas jugaban con los juguetes y dominaron el entorno. Esos experimentos pueden encontrar su representación en las salas de clase, donde el profesor domina las decisiones y las actividades curriculares, docentes y evaluativas. Los alumnos tienen que crear su ambiente e interactuar con él.

Si definimos en un ambiente social a la persona madura como aquella que es más apta para adaptarse a las necesidades e intereses de los demás, el profesor debe entonces adaptarse a sus alumnos.

Actividades tales como proyectos de los alumnos, aprendizaje cooperativo, evaluación por portafolio ponen a los alumnos en el centro del proceso educativo.

*El ambiente solitario:* las ratas necesitaban interactuar con otras ratas para aprender a cómo resolver los problemas de las ratas. La situación es igual con los estudiantes: un ambiente social estimulante entrega el único ambiente apropiado para dominar las habilidades sociales. ¿Cuál es el ambiente normal?

Es importante recordar que una jaula de ratas socialmente enriquecida tuvo como resultado un significativo crecimiento más que el ambiente solitario empobrecido. Las escuelas deben, por lo tanto, ayudar a los alumnos a adaptarse a las realidades de la cultura –nuestro mayor desafío es crear un enriquecimiento firme en un medio social escolar que tiene un alto potencial para empobrecer– cambiar el ambiente artificial de clase en una respetable aproximación a un ambiente natural.

Marian Diamond (2000) recomienda que los profesores deben aproximarse a su tarea con el compromiso de tratar a sus alumnos con un tierno y cariñoso cuidado. Ella piensa que cada alumno debe ser tratado como persona.

#### ¿CUAL DEBERIA SER LA ACTITUD QUE LOS PROFESORES O EDUCADORES DEBERIAN ASUMIR ANTE LA NEUROCIENCIA?

Varios autores sostienen que estamos frente a un gran desafío profesional. Nuestra profesión, según Sylwester, es una profesión conductista. Nos fijamos en las manifestaciones visibles, medibles y manejables de conocimiento más que en los mecanismos y procesos cognitivos. Como nuestra profesión no puede comprender los procesos cerebrales internos se concentra en objetos o eventos externos (estímulos) y en la conducta que emerge de procesos cognitivos desconocibles (respuesta). Aprendemos a manipular el entorno para lograr la conducta deseada.

La base de nuestra profesión está más cerca del folclore que del conocimiento científico. Podemos predecir lo que ocurre en clase, pero no sabemos por qué ocurre. El centrarse en la conducta externa puede llevar a conclusiones inapropiadas.

No comprendemos los mecanismos subyacentes que gobiernan la enseñanza y aprendizaje como son la emoción, el interés, la atención, el pensamiento, y la memoria. No sabemos si nuestros alumnos aprenden debido a nuestros esfuerzos o a pesar de ellos.

El estudio de la conducta, por otra parte, puede llevarnos a diagnósticos y tratamientos parciales de muchas complejas conductas de aprendizaje como dislexia, desórdenes de atención, motivación y olvido.

Estamos, pues, ante una encrucijada: podemos seguir fijándonos en la observación de la conducta externa o buscar una comprensión científica de los mecanismos, procesos y malos funcionamientos que afectan la realización de tareas complejas de aprendizaje.

Ahora bien, el entender los mecanismos y procesos del cerebro añade una dimensión excitante a lo que pensamos sobre nuestra profesión. Sólo a través de nuestro conocimiento de la investigación y de las chapucerías de nuestra profesión comenzaremos a descubrir las aplicaciones útiles de la teoría del cerebro.

Nuestra orientación profesional ha sido sólo en ciencias sociales y conductuales; los alumnos de pedagogía rara vez trabajan mucho en biología, química y psicología cognitiva. Pero los significativos adelantos en la teoría e investigación del cerebro sugieren que debe aumentarse la cantidad de ciencias naturales en nuestra preparación.

Y Sylwester concluye, planteándose esta interrogante: ¿Puede una profesión encargada de desarrollar un cerebro efectivo y eficiente permanecer desinformada con respecto al cerebro? Si no podemos presentar líderes informados en problemas educativos surgidos de la investigación y teoría del cerebro, ¿podemos esperar que otros, tan desinformados como nosotros, tomen decisiones por nosotros?

Nuestra profesión está ahora al borde de una transformación. Piense en lo que sabíamos sobre el cerebro hace 20 años y compárelo con lo que sabemos ahora; luego proyecte nuestro nivel de comprensión a 20 años más adelante.

El desafío para los educadores, prosiguen Caine y Caine (1998), es que hay que tomar en serio la investigación del cerebro. Eso significa cambiar nuestro pensamiento y práctica a base de lo que sabemos del aprendizaje compatible con el cerebro.

Jensen (2000b) parte haciéndose una pregunta candente: ¿El aprendizaje basado en el cerebro es verdad o es impostura? ¿Dónde está la prueba del aprendizaje basado en el cerebro?

A menudo aparecen preguntas con respecto a si la investigación del cerebro es confiable para la capacitación y para la aplicación en clase. Los precavidos, escépticos, vacilan en abrazar nuevas ideas. Los entusiastas e impulsivos ensayan cualquier cosa, tenga ésta fundamento o no. Nunley (2002) se explicita un poco más en este punto diciendo que hay, actualmente, un murmullo de advertencia que está circulando por la comunidad educacional en cuanto a que los profesores no deberían subirse demasiado rápido al carro de la educación basada en el cerebro. Lo que tenemos que hacer es esperar. Esperar que los neurocientíficos nos digan cómo toda esa nueva investigación sobre el cerebro se puede aplicar en la sala de clases.

Pero lo que los educadores no entienden es que los neurocientíficos no saben dónde comenzar, pues ellos no son profesores; no están en la sala de clases. No saben las preguntas cuyas respuestas buscamos. Como educadores tenemos que abordar de frente nuestras más apreciadas cuestiones sobre la clase. La tecnología está allí. Tenemos que conocerla ahora.

Como es evidente, un profesor bien informado habitualmente tomará mejores decisiones. El profesor debe juzgar si la investigación se adecua a su particular clima de aprendizaje y cómo. Uno tiene que ser cuidadoso y prudente en cómo se interpreta y usa la investigación. Nuestro proceder debe ser buscar la investigación básica en neurociencia y juntarla con los datos de la psicología y de la ciencia cognitiva. Lo que uno nunca encontrará es un estudio definitivo que demuestre que el aprendizaje basado en el cerebro es mejor.

Wolfe (2001) también acentúa esa actitud precavida con respecto a la investigación en neurociencia: el entusiasmo y el interés en la investigación en neurociencia es innegable. Pero, ¿adónde estamos yendo con nuestra nueva información? ¿Será otra moda o estamos al fin a punto de adquirir una teoría científicamente fundamentada de la enseñanza y del aprendizaje? Pienso que eso tiene la posibilidad de ir a uno u otro lado. Eso depende de cómo interpretemos y utilicemos la investigación.

Lo que debemos hacer es escoger cuidadosa y analíticamente entre los datos y determinar qué estudios realmente tienen aplicaciones para la clase y cuáles no.

Madigan (2001) pone una nota, hasta cierto punto negativa, a propósito de ese innegable entusiasmo por la investigación basada en el cerebro, cuando dice: “No hay nada malo en la lógica de querer saber cómo trabaja el cerebro; eso podría ayudarnos a entender cómo aprende la gente”. De hecho, hay una gran cantidad de investigación preliminar en esta área. El problema es que algunos profesores están extrapolando pieza por pieza de algunos hallazgos y creando especificaciones curriculares sin una investigación real que las sustente. El uso del término “basado en el cerebro” ha llegado a estar de moda, pero, desgraciadamente es sólo eso una moda que puede realmente dañar la investigación seria en un campo tan complejo.

No podemos ir de la Neurociencia a la clase, porque no sabemos bastante sobre Neurociencia.

Muchos científicos, continúa diciendo la autora, aconsejan que es muy prematuro aplicar en la sala de clases los estudios sobre memoria y aprendizaje. Incluso si la ciencia estuviera lista para su aplicación, los profesores deberíamos exigir un estudio cuidadoso de cualquier herramienta basada en la teoría antes de apoyar su implementación y diseminación masiva. Sólo la innovación basada en la investigación mejorará nuestra base de conocimientos.

Caine y Caine (1998) aconsejan también actuar con cautela cuando se trata de aplicar la investigación del cerebro a la clase. La investigación del cerebro, afirman, deja muchas cosas sin responder, pero también influye en cómo educamos. Por lo tanto, los resultados y conclusiones de los biólogos deben ser filtrados. Los educadores deben aprender a cómo pensar sobre la investigación del cerebro, porque nadie trabaja más íntimamente con los cerebros vivos que ellos. Reducir la investigación en neurociencia a prescripciones de estrategias de enseñanza minimiza la inmensa promesa de esa investigación para los educadores.

Los educadores deben basarse en muchos cuerpos de investigación y relacionarlos para aprovecharse plenamente de la investigación del cerebro. Ningún campo, sea biología o filosofía o química solos, determina qué son los seres humanos y cómo aprenden. La biología no reemplaza lo que entendemos. Es uno de los muchos cuerpos de trabajo y pensamiento que nos mantiene pensando sobre qué realmente pensamos y entendemos.

Al tratar con la neurociencia los educadores deben reflexionar y trasladar esa continua investigación al mundo de la educación, pero no traducir esa investigación compleja en estrategias que no resultan.

Lackney (1998) coincide con los autores citados, pero acicatea a seguir adelante: hay que ser cautos al aplicar los resultados de la investigación basada en el cerebro, pero simultáneamente hay que seguir adelante con lo que sabemos. No podemos esperar, hay que actuar.

#### EN VISTA DE TODO LO EXPUESTO, ¿CUAL ES EL DESAFIO QUE LES PLANTEA A LOS EDUCADORES LA INVESTIGACION DEL CEREBRO?

Jensen (2000b) responde a esta pregunta diciendo que si bien las escuelas no deberían funcionar basadas únicamente en la biología del cerebro, ignorar, por lo demás, lo que sabemos sobre el mismo es una irresponsabilidad. El aprendizaje basado en este órgano ofrece sugerencias a los profesores que quieran una enseñanza más informada. Ofrece la posibilidad de menos corazonadas o equívocos en clase.

Es cierto que estamos todavía en la infancia de la investigación cerebral y que hay mucho más que aprender todavía. Pero no podemos descartar esa investigación bajo el pretexto de que está de moda, es prematura u oportunista; eso sería peligroso para nuestros alumnos.

Sylwester (1995) afirma que si queremos hacer de la docencia una profesión creativa, optimista y estimulante, tenemos que descubrir nuevas maneras de pensar sobre lo que es la educación formal y lo que puede ser.

La actual teoría e investigación del cerebro entrega ahora esbozos amplios y tentativos de cómo debe ser la escuela del futuro; pero los descubrimientos se intensificarán. Los profesores que quieren estudiar los adelantos de la nueva ciencia cognitiva, y luego explorar y experimentar en su búsqueda de apropiadas aplicaciones educativas, tendrán que resolver cosas específicas en los años venideros.

En otro de sus libros, *The Brain Revolution* (1998), Sylwester concluye diciendo que entender cómo trabaja el cerebro es algo muy importante para los educadores, porque una profesión desinformada es vulnerable a las modas pseudocientíficas, a generalizaciones inapropiadas y a programas dudosos. Cuesta imaginarse por qué una persona que educa cerebros no quiera entenderlos ni explorar las maneras cómo aumentar su efectividad, ahora que la información está disponible.

Sousa (2001) es categórico al decir que, si bien los profesores tienen todavía mucho que aprender de la psicología conductista y cognoscitivista, tienen mucho más que descubrir aún en la excitante área de la biología, incluyendo la investigación en neurociencia. A medida que examinamos las pistas que esta investigación está produciendo acerca del aprendizaje, reconocemos su importancia para la profesión docente... Los profesores tratan de cambiar el cerebro humano cada día. Mientras más sepan de cómo él aprende, más exitosos pueden ser. El conocimiento es poder.

Nuestra tarea, concluyen Caine y Caine (1998), consiste no sólo en interpretar y aplicar lo que otros descubrieron. Nosotros, como profesores, trabajamos con grupos de cerebros vivos a cada momento del día, conocemos y vemos cosas que los neurocientíficos ni siquiera se imaginan. Tenemos que hacer algo más. Los profesores deben tomar el

liderazgo para darle sentido a lo que está siendo descubierto. Tenemos que hacer preguntas y centrar la investigación en las áreas que sabemos que tienen más necesidad de ser entendidas.

## CONCLUSIONES

Al examinar tantos testimonios de profesionales de la educación que están en permanente contacto con el mundo neurocientífico sobre las bondades y limitaciones de la investigación del cerebro, sobre la teoría del aprendizaje compatible con el cerebro, sobre sus implicaciones y aplicaciones en la sala de clases y en la escuela, cabe preguntarse: ¿la educación necesita realmente de la Neurociencia? Estamos seguros de que, después de la lectura atenta de este artículo, usted dirá rotundamente que *sí*.

¿Podemos continuar haciendo lo que hacemos cuando se sabe fehacientemente que el sistema actual escolar es abiertamente atentatorio contra el cerebro? ¿Podemos seguir priorizando en el currículo escolar el contenido, tratando de llenar los cerebros de nuestros alumnos con información (input) y obtener el correspondiente output en los tests o pruebas, cuando se sabe que la información prolifera a un ritmo geométrico y que sería necesario que los estudiantes estuvieran cuarenta años en la escuela para adquirir el “conocimiento esencial” necesario?

No podemos seguir como estamos; si queremos, los profesores, ser realmente profesionales de la educación, tenemos que actuar como tales. Y eso requiere que adquiramos una buena base de información científica sobre el cerebro, sobre cómo aprende el cerebro. En cada escuela, en cada departamento provincial de educación, debería existir un núcleo de profesores de ciencias naturales, de humanidades, de artes, etc., que trabajaran de consuno en procura de conocer más y profundizar más en la teoría del aprendizaje compatible con el cerebro.

Cosa curiosa, los programas de desarrollo profesional y de capacitación de las empresas y de la industria van varios años delante de las escuelas y de los liceos en la promoción de técnicas de aprendizaje acelerado o favorable al cerebro para diferentes tipos de aprendices. Ha llegado, pues, el momento para que las escuelas, las instituciones formadoras de profesionales de la educación y las diversas estructuras educacionales del Estado se pongan de acuerdo para hacer del uso de la información de la investigación del cerebro la prioridad principal y más dinámica.

Una manera concreta de llevar esa aspiración a la práctica es que en cada escuela los profesores y el cuerpo directivo hagan investigación-acción sobre las aplicaciones de los resultados y los avances en Neurociencia al proceso de aprendizaje y enseñanza. Sólo la investigación-acción, dice Jensen (1998), hecha por usted o por otros colegas, confirmará que la idea que usted leyó en una revista de educación o que aprendió en un curso-taller sobre Neurociencia y Educación, resulta para más de alguien, en muchas partes, reflejando una alta confiabilidad en el método. Sousa (2001), hablando de las ventajas de la investigación-acción, afirma que la investigación-acción le permite al profesor y al cuerpo de profesores recoger datos para determinar la efectividad de las nuevas estrategias sugeridas compatibles con el cerebro; le permite, además, acrecentar su propio desarrollo profesional; le proporciona al profesor una consistente retroalimentación para su autoevaluación, introduce formas alternativas para evaluar al estudiante, y sus resultados pueden llevar a importantes cambios en el currículo.



## BIBLIOGRAFIA

- ATAKENT, A. y N.Z. AKAR (2001). Brain based Learning: Another passing Fad? *European Languages Conference, Lesvos, Greece, September 2001*. <http://www.angelfire.com/ok2/metu/brainbased.html>
- BEIRAS, A. (1998). Estado actual de las neurociencias. En: L. Doval y M.A. Santos R. (Eds.). *Educación y Neurociencia*: 21-31. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.
- BRANSFORD, J.D., A.L. BROWN y R.R. COCKING (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- CAINE, R.N. y G. CAINE (1997). *Education on the Edge of Possibility*. Alexandria, VA: ASCD.
- CAINE, R.N. y G. CAINE (1998). How to think about brain. A set of guiding principles for moving cautiously when applying brain research to the classroom. *The School administrator Web Edition*, January 1998. <http://www.aasa.org/publications/sa/1998/01/caine.htm>
- CAINE, R.N. y G. CAINE (2003). *Research. Some basic questions about brain/mind learning*. <http://cainelearning.com/research/>
- CENTER FOR NEUROSCIENCE, MIND & BEHAVIOR (2000). *About the Center for Neuroscience, Mind and Behavior*. <http://caspar.bgsu.edu/%7eneuro/aboutcenter.shtml>
- COHEN, P. (1995). Understanding the brain: Educators seek to apply brain based research. *Education Update* 35. <http://www.ascd.org/readingroom/edupdate/1995/1sep.html>
- DIAMOND, M. (1988). *Enriching heredity: The impact of the environment on the anatomy of the brain*. New York: Free Press.
- DIAMOND, M. (2000). *My search for love and wisdom in the brain*. <http://www.newhorizons.org/blabwisdom.htm>
- DICKINSON, D. (2000-2002). *Questions to Neuroscientists from Educators*. <http://www.newhorizons.org/neuro/dickinsonquestions.htm>
- GEAKE, J. (2002). *The Gifted Brain*. [www.edfac.unimelb.edu.au/LED/GCE/brain.html](http://www.edfac.unimelb.edu.au/LED/GCE/brain.html)
- JENSEN, E. (1998). *Teaching with the brain in mind*. Alexandria, VA: ASCD.
- JENSEN, E. (2000a). Brain-Based Learning: A Reality Check. *Educational Leadership* 57. 7: 76-80.
- JENSEN, E. (2000b). *Brain Based Learning: Truth or Deception? Brain-Based Learning: Where's the Proof?* <http://www.jlcbrain.com/truth.html>
- KANDEL, E., J. SCHWARTZ y TH. JESSELL. (1997). *Neurociencia y conducta*. Madrid: Prentice Hall.
- HART, L. (1983). *Human Brain, Human Learning*. New York: Longman.
- HART, L. (1986). A Response: All "Thinking" Paths lead to the Brain. *Educational Leadership* 44. 9: 45-48.
- LACKNEY, J.A. (1998). *Brain-based principles for educational design*. <http://schoolstudio.engr.wisc.edu/brainbased.html>
- LAWSON, J.R. (2001). Brain-based learning: The brain is the seat of all learning. *Encyclopedia of Educational Technology*. <http://coe.sdsu.edu/eet/articles/brainbased/start.htm>
- MADIGAN, K. (2001) Buyer beware: too early to use brain-based strategies. *Basis Education Online Edition* 45, April 2001. <http://www.c-b-e.org/be/iss0104/a2madigan.htm>
- NEUROSCIENCE, MIND & BEHAVIOR AT BGSU <http://caspar.bgsu.edu/%7eneuro/index.shtml>
- NUNLEY, K. (2002). Layered Curriculum: Dr. Kathie Nunley's web site for educators. <http://help4teachers.com>
- PURPOSE ASSOCIATES (1998-2001). *Brain-based learning*. <http://www.funderstanding.com/brainbasedlearning.cfm>
- SIERRA, P., y M. G. SIERRA (2000). Cerebro, aprendizaje y educación. En: M.A. Santos R. (Editor). *A Educación en Perspectiva. Homenaje ó Profesor Lisardo Doval Salgado*, pp. 425-436. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.

- SOUSA, D. (2001). *How the brain learns. A classroom teacher's guide*. Thousand Oaks, Ca.: Corwin Press, Inc.
- SPRENGER, M. (1999). *Learning and Memory. The Brain in Action*. Alexandria, VA: ASCD.
- SYLWESTER, R. (1995). *A Celebration of Neurons: An Educator's Guide to the Human Brain*. Alexandria, VA: ASCD.
- SYLWESTER, R. (1998). The brain revolution. *School Administrator Web Edition*. [http://www.aasa.org/publications/sa/1998\\_01/sylwester.htm](http://www.aasa.org/publications/sa/1998_01/sylwester.htm)
- WOLFE, P. (2001). Brain Research and Education: Fad or Foundation? August 2001. <http://www.brainconnection.com/content/1601>
- YERO, J. L. (2001-2002). *Myths about learning*. Teacher's Mind Resources: <http://www.teachersmind.com>