

LA NEUROCIENCIA DE LA COGNICION: PROA PERSISTENTE HACIA UNA NUEVA FRONTERA EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

NARCISO SAULEDA PARES
M^a ANGELES MARTINEZ RUIZ

RESUMEN

Las relaciones entre la enseñanza de las ciencias experimentales y la neurobiología en el marco general de una evolución darwiniana son analizadas en este artículo. Después de visitar la memoria, se propone la conveniencia de ir desarrollando un nuevo paradigma basado en los avances en neurocognición. Finalmente, algunas implicaciones de la nueva visión de la enseñanza de las ciencias son discutidas.

ABSTRACT

The relationship between science education and neurobiology in the general context of darwinian evolution is discussed. After revisiting memory, the paradigm *neural education* based on the relevance of the neurosciences field in this decade is proposed. Ulteriorly, methodological implications in science teaching are analyzed.

PALABRAS CLAVE

Neurocognición, Memoria, Enseñanza Ciencias Experimentales, Evolución Darwiniana.

KEYWORDS

Neurocognition, Memory, Darwinian evolution.

1. INTRODUCCION

Hay, pues, que acostumbrar bien a la memoria porque ella sola proporciona la felicidad o el infierno (Baltasar Gracián, 1647).

La evolución ha esculpido los átomos, las moléculas, las galaxias y las estrellas y ha dado emergencia al RNA, las proteínas, el DNA, y la vida. Los seres vivos han evolucionado a través de un proceso de selección sobre la información codificada en los ácidos nucleicos. La evolución ha seleccionado a la inteligencia como una ventaja adaptativa y el poder del cerebro humano ha producido una evolución cultural consciente a través de un proceso de selección de información que ha creado los instrumentos de piedra, la agricultura, la escritura, el papel, la imprenta, la máquina de vapor, el computador de Babbage, el transistor, el satélite de comunicaciones, y el microprocesador. El cerebro ha creado la tecnología informática y ahora ésta abre las puertas a la investigación del cerebro en acción. La tecnología actual facilita la observación del funcionamiento del cerebro en tiempo real y permite establecer la relación entre acciones mentales y procesos neurales, así como la construcción del mapeado de la actividad cerebral. La tomografía por emisión de positrones

(PET), la formación funcional de imágenes por resonancia magnética (fMRI), la electroencefalografía (EEG), y la magnetoencefalografía (MEG) permiten visualizar la mente en acción, aportando evidencias, por ejemplo, de que cuando un individuo mira un nombre se activa el cortex visual primario, cuando oye un nombre los lóbulos temporales muestran actividad, al pronunciar un nombre las áreas motoras del habla evidencian funcionamiento, mientras que la generación de verbos influye en que sean las áreas de Broca y Wernicke las que se iluminan (Raichle, 1994). Margulis (1994) ha señalado la relevancia de la simbiosis en la evolución biológica y los autores de este artículo entienden que la búsqueda de una simbiogénesis cultural entre el cerebro vivo y el cerebro tecnológico ha dado emergencia a una nueva cultura y está haciendo realidad el sueño utópico de ver la mente en funcionamiento en tiempo real y, adicionalmente, está dando nacimiento a la creación de bases de datos sobre neurociencias que pueden ser accedidas a través de Internet. Proyectos concretos como el *Human Brain Project* están promoviendo la federación de familias de bases de datos que conducen a bases de datos comunitarias que permiten metanálisis que trascienden los mapas del cerebro elaborados por una única tecnología (Fox y Lancaster, 1994). En suma, la simbiogénesis de cooperación entre cerebro, ordenador, y red está dando emergencia a un tratamiento de la información sobre el cerebro a escala global. La neurociencia ha entrado en el ciberespacio y la información sobre el cerebro recorre la red informática que rodea al mundo como una especie de sistema nervioso. La expansión del ciberespacio y de la neurocognición va a generar una revolución en la enseñanza de las ciencias experimentales (Martínez Ruiz y Sauleda, 1993; Sauleda, 1992; 1994; Sauleda y Martínez, 1994a; 1994b), que va a permitir superar la crisis de los modelos actuales (Hurd, 1991).

Por otra parte, los recientes descubrimientos en relación a la comunicación a nivel molecular del funcionamiento del cerebro está impulsando fuertemente el campo de la neuropsiquiatría. El conocimiento de que las drogas pueden alterar los pensamientos y las emociones y el descubrimiento de cosméticos de la personalidad -prozac- está potenciando el concepto de que el cambio de la química del cerebro implica una variación en nuestros estados internos. Estamos ante un punto de inflexión en el que el énfasis se está trasladando desde el psicoanálisis a la neuropsiquiatría. Alcanzada una masa crítica de conocimientos neurobiológicos, la enseñanza de las ciencias debe evolucionar hacia la convergencia de las fundamentaciones filosóficas-psicológicas con las neurocientíficas. En la Década en que el Cerebro define a la Época, *epoch making*, cuando ya es cuasi posible visualizar la belleza del pensamiento, resulta insostenible seguir considerando el cerebro como una caja negra. La "envidia de la física" ha fomentado la búsqueda de una única teoría general de la enseñanza, nosotros entendemos que en un sistema de tan extrema complejidad como el de la educación las acciones más eficientes son preferentemente las que intentan fundamentar las actuaciones del profesor y del alumno en las explicaciones particulares que aportan las mismas ciencias experimentales. Hoy, la gran tarea consiste en la búsqueda de una simbiogénesis entre neurobiología, didáctica experimental, y tecnología de la información, que facilite el progreso hacia una visión holística del hombre y de su educación.

Las neurociencias, y la tecnología informática son subconjuntos del campo de conocimiento de las ciencias experimentales, y por ello deben ser enseñados en este ámbito científico. Adicionalmente, las aportaciones científicas de dichas áreas deben inequívocamente tender a buscar la fundamentación de las ciencias experimentales con una epistemología materialista fuerte (Changeux y Connes, 1989), orientando la nueva epistemología a la didáctica. A pesar de que en su obra el neuroanatomista español Santiago Ramón y Cajal estableció la doctrina neuronal no deja de sorprender la escasa atención que se presta en las revistas y congresos sobre la enseñanza de las ciencias al conocimiento del

funcionamiento del cerebro, aún reconociendo intentos valiosos como el de Anderson (1992). El País de Cajal debe ahora asumir el empeño de dar fundamentación a una revolución (Kuhn, 1970) de la didáctica de las ciencias sobre la base de los conocimientos neurocientíficos. En este sentido, este artículo revisa, en primer lugar, el estado actual de los conocimientos sobre la memoria y la influencia de éstos en la docencia y aprendizaje de las ciencias.

2. LA MEMORIA REVISITADA

En la década de los sesenta como contrapunto a una enseñanza con un gran componente memorístico se propició como estrategia didáctica cuasi exclusiva el equívocamente denominado "método científico" y como contrapunto se fomentó un olvido de la memoria que ha perdurado hasta estos días. En la enseñanza los abusos de la memoria y la tendencia natural a la simplificación de la complejidad ha conducido al planteamiento de un ambiguo dilema entre enseñanza tradicional básicamente memorística y enseñanza innovadora apoyada en la inteligencia. Klopfer (1991) en la conmemoración del 75 aniversario de *Science Education* contrapone la propuesta formulada por Dewey en el primer artículo del número inicial de la revista referida a que el objetivo básico de la enseñanza de las ciencias debía ser el enseñar el hábito del pensamiento científico, con el hecho de que hasta aquel cercano momento este propósito no había sido convertido en realidad en el aula. La asunción de que los organismos vivos sean básicamente resolutores de problemas y de que la esencia de la inteligencia radique en la capacidad de solucionar problemas (Popper, 1994) y en descubrir nuevos órdenes, no permite propiciar una amnesia consciente de la memoria, cuyo uso es necesario para hallar las analogías que conduzcan a nuevas ideas o para considerar diferentes alternativas y elegir la óptima en la resolución de un problema. Los autores adelantan para disipar cualquier duda que no defienden la enseñanza "memorística", pero también expresan su convicción de que la memoria o las memorias son capacidades valiosas indispensables para el pensamiento y que la enseñanza debe orientar sobre el uso equilibrado de la misma y prevenir sobre los malos usos y abusos de este fino mecanismo que ha llevado mucho tiempo a la evolución el desarrollarla hasta el nivel humano. Jorge Luís Borges (1956) en el relato *Funes el memorioso* reconoce la relevancia de la memoria con estos términos: *Lo recuerdo (yo no tengo derecho a pronunciar ése verbo sagrado...)*. Asimismo, el privilegio de la memoria queda patente ante la visión de su ausencia en los pacientes con la enfermedad de Alzheimer, que llegan a perder con sus recuerdos su relación con su propio yo y su vinculación a la realidad. La relevancia de la memoria queda plasmada incluso en procesos como la organización temporal de la acción -movimientos esqueléticos, motilidad ocular, o lenguaje hablado- que vienen regulados por dos funciones cognitivas que ocurren en los lóbulos frontales: la memoria activa y el conjunto motor (Fuster, 1993). Coparticipamos del criterio de Landa (1993) referido a que el fracaso de los profesores en enseñar a pensar deriva del desconocimiento de las acciones mentales específicas que están implicadas en la cognición.

En síntesis, los autores defienden la asunción de que no sólo hay que crear en el aula un clima que fomente la resolución de problemas, sino que incluso hay que intentar lograr que la mayoría de los alumnos pierdan el temor, valoren, sientan placer, y se apasionen por la resolución de problemas. Empero, asimismo se asume en este artículo que la actitud anterior no implica el renegar de la memoria que es requisito inequívoco del aprendizaje y de la esencia del hombre, sino el enseñar el uso efectivo y eficiente de la misma en el marco de la búsqueda del desarrollo holístico de la personalidad del alumno. En la navegación por los

infinitos y cambiantes océanos del conocimiento, el aprendizaje continuo demanda puntos fijos, unidades de conocimiento cuya longitud se acrecienta con una reiterada revisión.

3. DE LA DIVERSIDAD DE LAS MEMORIAS

En los procesos de aprendizaje y memoria un elemento esencial es la potenciación a largo plazo (LTP). Esta depende de la transmisión de repetidos impulsos en una sinapsis y es capaz de fortalecer una sinapsis entre las miles de una neurona. Bliss y Collingridge (1993) en la revisión de la LTP proponen tres propiedades que caracterizan a ésta: cooperatividad, asociatividad, e input-especificidad y, en síntesis, señalan que una sinapsis es potenciada, si y sólo si se encuentra activa al mismo tiempo que la región de la misma dendrita se encuentra suficientemente despolarizada. Los autores antes citados distinguen en la potenciación de una sinapsis: una fase de inicio, la potenciación a corto plazo (STP) independiente de las proteínas quinasas y que dura alrededor de una hora; la LTP₁ que presenta una duración de 3 a 6 horas y es bloqueada por los inhibidores de la quinasa; la LTP₂ que es bloqueada por los inhibidores de la síntesis de las proteínas; y la LTP₃ que se sostiene durante varios días y requiere la expresión de genes. La depresión a largo plazo (LTD) es otra forma de plasticidad sináptica en la que se disminuye persistentemente la eficacia de las sinapsis y puede ser una explicación al hecho de que nuestras sinapsis no estén máximamente potenciadas. En las tareas motoras dependientes del cerebelo la depresión de las sinapsis que han conducido a errores aumenta la eficacia de las redes nerviosas. En conclusión, la acción conjunta de diversos tipos de LTP y LTD forma la huella mnemónica (Ito, 1994).

La LTP depende de una señal desde la neurona post a la presináptica, que se ha denominado mensajero retrogrado. Se ha sugerido que el óxido nítrico (NO) (Snyder y Bredt, 1992; Kandel y Hawkins, 1993), el monóxido de carbono y el ácido araquidónico podrían estar entre estos mensajeros. El dogma básico hebbiano establece que la LTP es un proceso específico en la sinapsis, Empero, Shuman y Madison (1994) han aportado hallazgos que sugieren que la LTP puede difundirse a las neuronas adyacentes gracias a la acción del NO, lo que podría dar soporte a la teoría no hebbiana de aprendizaje por volumen en la que se atribuye al NO la formación de la memoria y, también, la organización espacial del cerebro durante el desarrollo. La acción del NO podría ser responsable de la organización de las neuronas en estructuras columnares en ciertas regiones del cerebro, ya que la anchura de los estratos y de las columnas responde aproximadamente al rango de difusión efectiva del NO. Para el aprendizaje y la memoria la potenciación difusible significa que en vez de pensar en una sinapsis habría que pensar en una población de sinapsis potenciadas actuando juntas (Edelman, 1992). La potenciación distribuida es un mecanismo para el fortalecimiento cooperativo de las sinapsis proximales y puede actuar en una diversidad de procesos plásticos del sistema nervioso, siendo un tipo de reforzamiento que puede servir para amplificar señales sinápticas que subyacen en funciones neuronales comunes. El conocimiento de la LTP, la STP, y la LTD permitirán actuar con más fundamento en educación. En todo caso, los recientes hallazgos de Sakimura *et al.* (1995) sobre la relación entre aprendizaje espacial y receptores NMDA (N-metil D-aspartato) solidifican la noción de que la plasticidad sináptica -representada por la LTP en el hipocampo- es el mecanismo celular para ciertas formas de memoria y aprendizaje. Adicionalmente, el proceso de la integración sináptica que determina que una neurona se dispare o no, está siendo evidenciado señalándose que ocurre en compartimentos dendríticos restringidos -espinas y finas dendritas adyacentes (Eilers *et al.*, 1995). Empero, Llinás (1995) en una revisión del artículo antes

citado establece un contrapunto entre la relevancia de las nuevas evidencias en neurociencias y lo mucho que queda por aprender sobre los "espinosos" problemas neuronales. Punto de vista compartido por los autores de este artículo.

En el funcionamiento del cerebro Gazzaniga (1985) y Minsky (1987) proponen una concepción modular basada en un gran número de sistemas que actuarían relativamente independientes en paralelo. En este artículo se propone que frente a la contraposición memoria-aprendizaje se eduque bajo la consideración que en el cerebro hay diferentes subsistemas en distintas estructuras anatómicas que funcionan en una federación cooperativa. En forma similar a como en un ordenador hay memoria, microprocesador, y otros elementos, el cerebro también necesita para su funcionamiento de diversos sistemas entre ellos la memoria. Resulta paradójico el hecho de que todo profesor de ciencias conoce que en un ordenador personal operan una jerarquía de memorias -la memoria en disco magnético, la RAM, la caché fuera del chip, la caché en el chip, y los registros, no obstante una alta proporción de profesores desconocen todo sobre las distintas memorias con las que ellos mismos y sus alumnos aprenden y trabajan. En suma, la memoria está constituida por una asociación de múltiples sistemas en una red distribuida de neuronas. Ahora bien, la definición, clasificación y coordinación entre las mismas es un proceso en la frontera en continuo cambio, habiendo seleccionado los autores el breve esquema orientativo que más abajo se desarrolla.

La *memoria funcional* se responsabiliza del almacenamiento a corto plazo de la información, de la recuperación de la información de la memoria a largo plazo, de la producción de respuestas alternativas, y de cambiar la atención de una situación previamente significativa. Es una capacidad que puede ser esencial para la formación de conceptos abstractos, ya que permite efectuar representaciones de objetos exteriores y posteriormente operar con dichas representaciones en ausencia de los objetos. El cortex frontal es una estructura relevante para este tipo de memoria, mostrando una suma especialización ya que, por ejemplo, una parte del cerebro es responsable de la memoria funcional para la invención de verbos ante nombres usados como estímulos, mientras que otros circuitos neurales son recrutados cuando la función antes citada se repite y se convierte en automática (Raichle, 1994). La práctica hace más perfecto algo que ya se conocía y además cambia la forma en que el cerebro se autoorganiza -algo a tener en cuenta al enseñar ciencias. La memoria se divide, pues, además de por su contenido por su función. En suma, las redes neurales de la corteza prefrontal actualizan los modelos internos de la realidad para reflejar las cambiantes demandas ambientales y la información que va llegando, guiando así a la memoria a corto plazo y el comportamiento inmediato (Goldman-Rakic, 1993). Las respuestas neuronales son mayores cuando los estímulos difieren de los recién percibidos, hecho que justifica la procedencia de presentar a los alumnos modelos discrepantes o diferenciados de los que ellos dominan.

La *memoria implícita o procedural* se genera por un proceso de aprendizaje lento, a través de ensayos repetidos, asociando estímulos secuenciales y almacenando información sobre relaciones predictivas. Esta memoria no requiere el hipocampo para su formación. Los pacientes con lesiones en los lóbulos temporales pierden la capacidad de formar recuerdos conscientes a largo plazo, pero mantienen la capacidad de aprender nuevas destrezas perceptuales y motoras, y hábitos. Karni *et al.* (1994) han aportado evidencias acerca de que las destrezas adquiridas por repetición (memoria procedural) son fortalecidas en una actividad cerebral que ocurre durante la fase REM (rapid eye movement) del sueño. En el aprendizaje de una destreza los sujetos no mejoran inmediatamente que es lo esperable que ocurriera si se aprendiera por la simple repetición, sino 8 horas más tarde de la sesión de entrenamiento.

Con la supresión de las fases REM del sueño no se produce aprendizaje y parece que un flujo de acetilcolina -producida por las células que degeneran en la enfermedad de Alzheimer- puede ser la causa de la consolidación.

La *memoria declarativa o explícita* permite la recuperación en forma rápida y consciente de hechos. La memoria declarativa depende para su formación del hipocampo, pero con el tiempo deviene memoria a largo plazo que no precisa del hipocampo para su recuperación desde otras áreas del cerebro. Wilson y MacNaughton (1994) han observado que las mismas neuronas que se activan a la vez en una exploración espacial se activan asimismo juntamente durante la fase SW (slow sleep wave) del sueño posterior a la exploración. La fase SW es el período más común del sueño y en él se activan marcadamente las neuronas del hipocampo. Los mencionados autores indican que la consolidación de la memoria parece exigir múltiples reactivaciones de la misma pista de memoria y que si se tuviera que hacer en tiempo real uno se pasaría la vida despierto con esta función. La relevancia de la fase REM para la memoria procedural es clara, mientras que para la memoria declarativa lo es la fase SW, puede que sea la alternancia de las dos fases lo que sea básico para la consolidación de la memoria, algo que parece se demuestra en las redes neurales artificiales.

Para Pascual-Leone *et al.* (1994) los individuos que desarrollan un conocimiento implícito de una tarea motora a través de un test serial lo reflejan en la disminución del tiempo de respuesta. Los mapas corticales de los músculos que intervienen en la tarea aumentan progresivamente. Empero, cuando se alcanza el conocimiento explícito los mapas disminuyen hasta su estado original. Hay una transferencia de conocimiento del estado implícito al explícito. La mejora progresiva de un aprendizaje implícito se correlaciona con una amplificación de los mapas corticales de las salidas motoras a los músculos que interviene en la tarea y de un incremento de la intensidad de las señales en estos mapas. Estos datos son coherentes con el incremento del flujo sanguíneo en el área motora primaria, área motora suplementaria, y tálamo en un aprendizaje implícito. El desarrollo del conocimiento explícito se produce porque el sujeto cambia de estrategia, mientras hay un retorno de los mapas motores a su estado original. Cuando se aprende una secuencia motora explícitamente la contribución del cortex motor disminuye y otras áreas asumen mayor responsabilidad en la tarea. El conocimiento implícito es raramente puro ya que se produce una contaminación con el conocimiento explícito. Cuando una destreza deviene muy sobreaprendida y automática es posible que se produzcan cambios en las estructuras intracorticales y subcorticales.

El recuerdo de experiencias concretas cuya recuperación provoca sentimientos de intimidad y experiencia personal se liga a la *memoria episódica*. Ciertas formas de amnesia afectan a este tipo de memoria pero no a otras memorias. Este hecho ha llevado a Shallice *et al.* (1994) ha proponer un sistema específico para la memoria episódica. Con la tomografía de emisión de positrones los autores precitados señalan que la adquisición puede estar ligada con el lóbulo prefrontal izquierdo y el área retrosplenial, y la recuperación con el lóbulo prefrontal derecho. En suma, la memoria episódica depende de una red de estructuras prefrontales y posteriores que hacen que el proceso se fraccione en una serie de subprocesos. Por otra parte, los individuos disponen de una *memoria semántica* que se basa en representaciones construidas a partir de los rasgos comunes de una serie de observaciones -memorias episódicas- y tratan de hechos en forma independiente a como han sido aprendidos estos hechos. Las dificultades para aprender y recordar son un rasgo relevante en los pacientes con la enfermedad de Alzheimer, Parasuraman y Martin (1994) han aportado importantes indicadores de que también lo es la pérdida de la memoria semántica. Los

enfermos muestran una dificultad en hallar palabras debido a la pérdida de atributos y rasgos de los objetos, y presentan más dificultad en generar nombres de animales, que en hallar palabras que empiezan con la letra "A". La representación semántica de palabras y objetos consiste, al menos en parte, en el conocimiento de rasgos y atributos que están distribuidos en varias redes neuronales. La impresión semántica depende de la activación de redes que se solapan, siendo la extensión de solapamiento función del número de atributos que se comparten. Cuanto mayor es el solapamiento, mayor es la facilitación. Las representaciones semánticas se degradan en la enfermedad de Alzheimer, siendo la enfermedad consistente con el punto de vista de la cognición como un proceso modular ya que se produce una desconexión entre varias regiones cerebrales. El concepto de memoria episódica y memoria semántica ha inspirado el diseño de redes neurales artificiales, así McClelland y Plaut (1994) han desarrollado un modelo para reconocer escritos caligráficos con los dos sistemas. En el modelo los datos específicos se aprenden y almacenan rápido en forma parecida al hipocampo. Posteriormente, los datos se repiten reiteradamente en una red neural artificial separada que al estilo del neocortex permite que la nueva información gradualmente modifique los datos antiguos, construyendo una generalización a partir de muchos datos específicos.

Knowlton y Squire (1993) entienden que el aprendizaje de las categorías a través del encuentro de ejemplos y no-ejemplos parece que es independiente de la memoria explícita o declarativa. La adquisición de las categorías puede deberse a un proceso de memoria implícita a través de la acumulación de información de múltiples ejemplos. En el encuentro con una serie de ítems un sujeto aprende sobre cada uno de ellos y además sobre lo que todos los ejemplos tienen en común. Los resultados con pacientes amnésicos parecen demostrar que el desarrollo de categorías puede incluso producirse en ausencia de memoria declarativa. La repetición de los ítems produce el conocimiento de la categoría y aumentando el número de ejemplos se incrementa la robustez del recuerdo. La clasificación no depende, pues, de las estructuras límbicas o diencefálicas que están dañadas en la amnesia. Por otra parte, las similitudes entre el aprendizaje de clasificaciones y el de procedimientos y hábitos, hace que la detección de la invarianza entre muchos ejemplos es posible que dependa de los sistemas corticostriatal, al igual que en el aprendizaje de hábitos. El conocimiento de las características y relaciones entre memoria episódica y semántica son un soporte a la fundamentación de la enseñanza de las ciencias, y dan validez biológica a algunos procedimientos de tipo inductivo que han venido siendo utilizados, especialmente, en la enseñanza de la biología.

La investigación de la relación entre memoria y emociones está definiendo las características de la *memoria emocional*. Ledoux (1994) sintetizando los avances sobre el condicionamiento del miedo usando estímulos sonoros señala que no se precisa la corteza para que se produzca el condicionamiento, mientras que las lesiones de la amígdala lo impiden. El animal ha de aprender dos dimensiones: primero que un sonido es peligroso y segundo en que ambiente o contexto este sonido es temible. Las lesiones de la amígdala impiden el condicionamiento al tono, mientras que el daño del hipocampo -memoria declarativa- bloquea la respuesta al entorno. La información contextual adquiere significado emocional gracias a la función del hipocampo. La amígdala puede recibir impulsos desde el tálamo y desde la corteza. Sin corteza auditiva el animal aprende a responder con una reacción de miedo ante un tono único. Cuando se somete al animal ha diversos ensayos de sonido sin descarga eléctrica se produce la extinción, que parece no se produce tanto por la eliminación del recuerdo emocional cuanto al control de la respuesta de temor por parte del cerebro. La respuesta puede recuperarse mediante una experiencia mínimamente estresante. La eliminación de los recuerdos emocionales es problemática, parece que se mantienen

latentes. El daño en la corteza prefrontal implica una alta dificultad en la eliminación de la memoria emocional. Las áreas prefrontales regulan la memoria emocional a través de la amígdala y suprimen las respuestas emocionales si éstas han perdido su significado. La extinción parece un proceso activo del aprendizaje, el bloqueo de los receptores NMDA -N-metil D-aspartato- en la amígdala la impide. Aprender no es únicamente recordar más información, sino también olvidarla.

El tálamo sensorial suministra a la amígdala una información del ambiente exterior muy esquemática, pero en forma rápida. Como contrapunto la corteza informa con representaciones precisas, pero los distintos nexos implican un tiempo adicional. El factor tiempo podría justificar la existencia de dos vías alternativas para la memoria emocional. Una ruta subcortical de reacción rápida ante el posible peligro en la que la respuesta emocional se inicia en la amígdala antes de que el individuo sea consciente del peligro o identifique la sensación que está experimentando, que puede ser muy eficiente en reacciones de peligro rápidas como el roce en una pierna en el mar. Ulteriormente, gracias a otra vía la coordinación de esta información con la corteza va a posibilitar el ajuste de la reacción a la realidad de la situación. Se asume, por supuesto, que la amígdala no es el único centro de aprendizaje y que éste depende de la red entera. La memoria emocional y declarativa se procesan en paralelo y sus actividades se fusionan en la experiencia consciente generando un nuevo recuerdo declarativo. Consiguientemente, la emoción afecta poderosamente a la memoria declarativa y otros procesos del cerebro. Por otra parte, la amígdala modula el almacenamiento y la intensidad de los recuerdos. En relación al aprendizaje y la memoria la amígdala está relacionada con la memoria de la significatividad de la recompensa de los estímulos. Existe una interacción funcional entre la amígdala y el cortex frontal órbito-medial en la ejecución de tareas que requieren la asociación de estímulos con recompensas. Esta interacción se ejecuta, en parte, por conexiones directas vía amígdala- cortex frontal y, en parte, por conexiones indirectas vía el núcleo talámico mediodorsal (Petrides, 1994).

Damasio *et al.* (1994) han reexaminado el caso de Phineas Gage hallando que debido a la barra de hierro que le lesionó los lóbulos frontales Gage presentaba problemas en la habilidad para tomar decisiones personales y sociales y en el procesamiento de las emociones, mientras que su capacidad para descubrir la lógica de un problema abstracto, de realizar cálculos, y la de recuperar el conocimiento apropiado y analizarlo quedó intacta. Los autores citados, a partir de mediciones, fotografías y radiografías del cráneo procesadas con la ayuda de un ordenador diseñaron un modelo espacial del cráneo y las posibles trayectorias en un espacio tridimensional que había podido seguir la barra de hierro. El modelo mostró que la lesión afectó en el hemisferio izquierdo a la mitad anterior del cortex frontal orbital, los córtices frontales polar y mesial, y el sector más anterior del giro cingulado anterior. En el hemisferio derecho la lesión afectó a la parte anterior y mesial de la región orbital, a los cortices frontales mesial y polar, y el segmento anterior del giro cingulado anterior. La sustancia blanca de los lóbulos frontales fue dañada más en el hemisferio izquierdo que en el derecho. La lesión no afectó al área de Broca o a los córtices motores. A partir de estos datos Damasio *et al.* (1994) formulan la hipótesis de que la emoción y los circuitos neuronales de que depende intervienen en la toma de decisiones en el dominio social y es posible que la participación depende de la región ventromedial frontal. Esta región está recíprocamente conectada con núcleos subcorticales -por ejemplo con la amígdala y con el hipotálamo- que controlan la regulación biológica básica, el procesamiento emocional, la cognición y la conducta social, mostrando una gran concentración de los receptores de la serotonina S_2 en monos en que su conducta es socialmente adaptada y una baja concentración en animales agresivos e incooperativos. En contraste, las estructuras en la región dorsolateral afectan a la cognición del espacio extrapersonal, los objetos, el lenguaje

y la aritmética. Estas estructuras están muy intactas en los pacientes tipo Gage. La asignación de las regiones frontales a diferentes dominios cognitivos es compatible con la idea de que las regiones frontales pueden estar implicadas en la atención, la memoria funcional, y la categorización de relaciones contingentes independientes del dominio. Damasio *et al.* (1994) concluyen que el caso de Phineas Gage evidencia que una persona puede aparecer físicamente intacta, muy inteligente y racional, pero fallar absolutamente a la hora de tomar decisiones, ya que la emoción es necesaria para tomar decisiones razonables y decidir elecciones morales. Gage perdió la emoción y sin ésta la racionalidad se rompe. Las emociones dependen de circuitos tan intrincados como la visión, el lenguaje y la inteligencia. Los humanos no pueden funcionar sin sentimientos, por ello Damasio (1994) entiende que el clásico "Pienso, luego existo" debería devenir "Pienso y siento, luego existo". La emoción separa, asimismo, al hombre del ordenador.

Adolphs *et al.* (1994) a partir de pacientes con la destrucción de la amígdala en ambos hemisferios señalan que ésta participa en la percepción de las señales sociales y en la comunicación social, produciendo las lesiones pérdida de la capacidad de discernir el temor en las expresiones faciales y la habilidad de percibir la dirección de la mirada, rasgos que son necesarios para predecir las intenciones y disposiciones de los otros. La expresión facial indica como un individuo va a actuar, mientras que la dirección de la mirada señala el objeto al que se presta atención. El contacto visual es una de las más significativas situaciones sociales. La amígdala es parte de un sistema para representar las intenciones de los otros. Además, es importante en el condicionamiento del miedo, incrementando, a través de conexiones con el hipotálamo y el tallo cerebral, el latido del corazón y el sudor ante el temor. Damasio (1994) ha propuesto que la amígdala y el cortex frontal orbital participan en la toma de decisiones a través de la interacción entre la correlación de estados somáticos (latido del corazón) con situaciones conductuales, los individuos tienden a evitar situaciones asociadas con resultados negativos como las asociadas como "*gut feelings*". Para Adolphs *et al.* (1994) la amígdala interviene en la expresión y reconocimiento de las emociones que en parte son innatas y en el de emociones más sutiles, mezclas de otras, resultado del desarrollo cultural. En suma, la amígdala es esencial para la cognición social ya que el reconocimiento de las expresiones faciales es un hecho básico para la conducta en un medio social complejo.

Paralelamente, hoy se están diseñando redes neurales artificiales a partir de como el cerebro aprende, focalizándose la atención en el sistema de la emoción, que conduce a la identificación y ejecución de acciones asociadas a buenas percepciones y a evitar las experiencias desagradables, y en el sistema basado en la habilidad de formar expectativas y reconocer modelos que pronostican lo que va a pasar después. Los dos sistemas aceleran el aprendizaje y por ello son vitales para redes que deben realizar tareas complejas como el control de un reactor nuclear. Una red neuronal artificial se puede programar para que el control de la temperatura en un reactor nuclear sea su "felicidad", y que todas sus acciones se dirijan a maximizar este parámetro. Los chips de este tipo ya están siendo testados para el ahorro de combustible en la Mercedes y la Ford. En los F-15 se está probando un sistema de aprendizaje motivado emocionalmente que controla al avión si es alcanzado por un proyectil. El sistema puede aprender antes que el ser humano a controlar el avión, si éste ha sido afectado.

En síntesis, la enseñanza de las ciencias debe beneficiarse de los estudios sobre la memoria emocional y el efecto de la modulación de las emociones sobre la memoria declarativa, y emocionalizar adecuadamente las clases dirigiendo la fuerza de la emoción al servicio de un aprendizaje motivado y al logro de intencionalidades valiosas. Incluso en la

resolución de problemas, sigue vigente el antiguo principio clásico de que ante un problema complejo, lo primero es tomárselo con calma. Asimismo, en este artículo se propone que los alumnos deben conocer estrategias para usar eficientemente los distintos tipos de memoria e intentar hacer converger sinérgicamente las diferentes clases de memoria en la acción real. Los oradores griegos ya organizaban la información declarativa en un contexto procedural, visualizando lugares familiares y colocando objetos en distintas ubicaciones, posteriormente recuperaban el recuerdo revisitando el lugar. El arte de la memoria o la mnemotecnia debe beneficiarse de los conocimientos mucho más precisos aportados por la neurobiología.

4. DARWINISMO NEURONAL

William James (1890), fundándose en la teoría de la evolución por selección natural enunciada por Darwin (1859) en *El origen de las especies*, propugnó que los procesos mentales operan en forma darwiniana, indicando que la consciencia es un proceso en que cada estado se integra en un "yo", está permanentemente cambiando, y efectúa en forma continua selecciones sobre unos contenidos. Las representaciones compiten entre ellas y la más "adaptada" es seleccionada. Changeux (1983; 1992), a la vista de los avances en neurociencias, ha reconceptualizado el paradigma evolucionista a nivel cognitivo proponiendo que desde el nivel de átomo al de "actividad mental" interviene un generador de diversidad, un proceso de selección, y un mecanismo de conservación y propagación de las variaciones seleccionadas. Así en las redes de neuronas se produce un proceso de estabilización selectiva de las sinapsis y de eliminación de las terminaciones sobrenumerarias (en ocasiones hay muerte celular o apoptosis). El desarrollo del sistema nervioso configurado a través de un proceso de selección de las conexiones sinápticas en función de modelos de actividad, ha sido recientemente precisado por Balice-Gordon y Litchman (1994) a partir de evidencias acerca de como las sinapsis neuromusculares son eliminadas mediante un mecanismo competitivo en el que influye la actividad sináptica. Los autores citados señalan que en una célula muscular inervada por dos neuronas motoras, la actividad postsináptica de una neurona suprime la actividad de la otra a menos que también se dispare en sincronía. En el caso de que las células pre y postsinápticas se disparan en sincronía sus conexiones son fortalecidas y un mecanismo similar podría actuar en el cerebro. Las investigaciones de Drevets *et al.* (1995) soportan la importancia de la supresión de la actividad neuronal potencialmente competitiva para mejorar el procesamiento de las señales a las que se presta la atención. La atención mejora la perceptibilidad de los estímulos y uno de los sistemas es a través del decrecimiento de la actividad somatosensorial en las áreas que rodean la localización de la diana. El anterior modelo es concurrente con el de la atención espacial en el que el incremento de señales potenciales puede depender de la supresión generalizada de la actividad contextual.

En el marco del modelo evolutivo, Calvin (1994) sugiere que el cerebro soluciona los problemas en forma inteligente a través de una máquina darwiniana, que opera a través de modelos, hace copias de éstos, se producen mutaciones que introducen diversidad, y las variaciones compiten por un espacio limitado, dependiendo el ritmo de reproducción de los modelos del ambiente. La activación de una memoria compete por el espacio neuronal con otras representaciones en el cortex y se produce la selección del nuevo pensamiento. Asimismo, Picton y Stuss (1994) en el contexto del paradigma de James (1890) acerca de las características de la *stream of thought*, en el que cada pensamiento es parte de la conciencia personal, está continuamente cambiando, es sensiblemente continuo, y es

seleccionado, proponen que el cerebro humano genera un modelo interno del mundo que se adapta a la información que recibe del mundo externo y experimenta lo virtual y no lo real. El cerebro experimenta el modelo más que la información que recibe. Cuando la información que recibe el cerebro es incoherente con los modelos previamente experimentados, el modelado demanda mucho tiempo y el procesamiento genera aproximaciones borrosas del estímulo. El proceso de aprendizaje depende, pues, de un proceso activo de modelado (Turrigiano *et al.*, 1994) de la información entrante, más que de una recepción pasiva. Consiguientemente, el aprendizaje es dependiente de actividad y por tanto en este artículo se propone se revise a otro olvidado, el "método activo" propugnado en los 60s.

En relación a la evolución de las especies biológicas, Jay Gould (1994) propone que la selección natural es una teoría robusta, pero que es un error considerar a esta teoría la única responsable de la evolución, ya que ésta viene afectada por una multiplicidad de factores. Dicho autor indica que la paleontología demuestra que las extinciones de especies en masa fueron más frecuentes de lo que se suponía y, por tanto, el papel del azar en la evolución no se debe desconsiderar. En suma, propone que la evolución biológica demuestra la existencia de grandes períodos de evolución dominada por una estabilidad afectados por contingencias generadoras de cortos episodios de inestabilidad. En estas fases, los cambios rápidos y radicales modifican las posibles direcciones internas y determinan que la vida sea algo en parte contingente y aleatorio. Consiguientemente, la evolución depende de dos modelos de reglas diferentes, siendo las extinciones en masa un proceso conferidor de aleatoriedad. En adición, los procesos de tipo caótico implican la dependencia de diferencias cuasi mínimas e indetectables en las condiciones iniciales, que pueden generar resultados disímiles. Asimismo, Jay Gould (1994) defiende que el incremento de la complejidad no es resultado obligado de la evolución y que la simplicidad tiene también sus ventajas evolutivas como se comprueba en la estabilidad del mundo microbiano.

Los autores de este artículo proponen que la visión de Jay Gould (1994) acerca de la relevancia de los episodios de inestabilidad conferidores de aleatoriedad debe ser tenida en consideración como un sistema de reglas coactuante con las derivadas del modelo darwiniano en la adquisición del conocimiento, en el que domina una validación funcional de las sinapsis activas que se hacen permanentes y una eliminación selectiva que implica que las sinapsis que no se usan se pierdan. La cognición, pues, puede venir condicionada también por las extinciones en masa. Además, conviene atender a que los procesos darwinianos puede que sean sólo una parte pequeña de la actividad cognitiva y que la mayoría del pensamiento humano venga dominado por reglas y automatismos. El darwinismo neuronal desarrollado en un sistema de alta complejidad con comportamiento caótico y sometido a extinciones en masa proporciona una teoría más general, dinámica y flexible, e incluye la construcción de nuevas ramificaciones dendríticas o sinapsis pero también su desaparición. La evolución de los sistemas de representación hacia una mayor flexibilidad y plasticidad puede que ayude a comprender la capacidad de los seres humanos para la resolución de problemas. La enseñanza de las ciencias debe, pues, también atender a que la evolución cognitiva de cada persona y alumno no es tampoco necesariamente de progreso y que viene, asimismo, influida por una amplia serie de fenómenos contingentes y aleatorios. Resulta necesario una selección adecuada de los contenidos y un período de estasis suficientemente largo para el aprendizaje de los mismos. La planificación del currículo es la base de este proceso, ya que continuas discontinuidades determinan una alta presión de adaptación a las nuevas circunstancias y este hecho fomenta el olvido de conocimientos relevantes. La equilibrada selección de los contenidos del currículo y la convergencia de la acción del profesorado son prerrequisitos para la generación de un medio de evolución estable. Los

autores consideran que en el aprendizaje los episodios de inestabilidad, de cambio revolucionario de modelos cognitivos, deben alternar con períodos suficientemente extensos de estabilidad para adaptar en forma más permanente los conocimientos. Consiguientemente, la cooperación entre el profesorado en el proceso de diseñar el proyecto curricular de centro y en la acción de implementar el currículo es un factor esencial para generar períodos extensos de evolución y de progreso del conocimiento de los alumnos.

La prestigiosa revista *Science* ha otorgado el título de molécula del año 1994 a las enzimas reparadoras del DNA (Koshland, 1994). El DNA garantiza la salud de los individuos, mantiene la especie y es responsable de la evolución. El DNA codifica la información de más de 60.000 proteínas y los errores de copia espontáneos o a causa de las condiciones ambientales -3 errores al copiar 3.000 millones de pares de bases en el genoma humano- pueden ser fatales. La inestabilidad del DNA es controlada por un efectivo sistema de enzimas de reparación. La vida se mueve, pues, entre el orden y el desorden en el borde del caos. La estabilización de lo inestable implica mecanismos de reparación, hecho bien reconocido por las culturas con voluntad de supervivencia que han estructurado sistemas de conservación de la información y los valores algunos de ellos llamados incluso *conmemoraciones*. El DNA garantiza la conservación y la evolución de las especies, el otro gran sistema que maneja información, las redes neurales, comparte similitudes con la forma de operar con la información que ordena el DNA. La evolución de los conocimientos se sitúa también en el borde del caos y esto hace necesario programar períodos de orden y de estabilización alternando con fases de inestabilidad y evolución. La copia perfecta del DNA no deja espacio a la evolución, la copia con muchas diferencias no ofrece ninguna oportunidad a la supervivencia. Un proceso paralelo se da en la cognición y ello obliga a que la enseñanza asegure la estabilidad de la información esencial con efectivos mecanismos de reparación y ofrezca oportunidades para la evolución conceptual en el *edge of chaos*. Nosotros proponemos pues una enseñanza de las ciencias basada en procesos de selección, estabilización, y adaptación a los nuevos contextos científicos de la información. La no comprensión de la necesidad de la alternancia entre estabilizar conocimiento e inestabilizar modelos erróneos es, a nuestro juicio, uno de los componentes substantivos del fracaso de algunas reformas innovadoras.

5. DISCUSION Y CONCLUSIONES

La personalidad se desarrolla sobre raíces fisiológicas y el ritmo de los descubrimientos en neurobiología es tan alto que el problema hoy es evitar que el torrente de hechos nuevos bloqueen la habilidad de pensar claramente. Ahora bien, la abundancia de las recientes evidencias ha causado ya el final del principio del paradigma neuronal, que definitivamente se está configurando. Consecuentemente, las neurociencias deben ser uno de los fundamentos clave de la enseñanza de las ciencias. Los autores proponen que la educación en ciencias se nucleé sobre los conocimientos acerca de la acción de los diversos subsistemas del cerebro -educación neural- buscando la sinergia de los distintos componentes. El profesorado de ciencias tiende a mostrar una resistencia considerable a la fundamentación de la enseñanza de las ciencias en presupuestos de otros ámbitos del conocimiento, pero hoy el modelo neurobiológico abre las puertas a que gran parte de la educación se apoye en paradigmas basados en las mismas ciencias experimentales y por tanto el profesorado va a disponer de un nuevo escenario científico que con total certidumbre va a despertar la pasión de muchos profesores por comprender y programar las decisiones didácticas desde un contexto situacional (Zeichner, 1994).

La educación neural debe incluir conocimientos, procedimentales, conceptuales y actitudinales. Conviene que los alumnos aprendan a ser conscientes de que sus propios sistemas cerebrales funcionan en forma adaptada a la tarea que realizan. En el marco de enseñar a los alumnos a pensar positivamente acerca del pensamiento, se trata de convertir el conocimiento sobre como el cerebro opera y transforma la información a través de una diversidad de acciones mentales en una serie de herramientas de aprendizaje. El desarrollo del conocimiento de los subsistemas cerebro puede ayudar a avanzar en el proceso de que cada persona haga un bloque diagrama de sus mentes señalando los diferentes agentes que compiten o colaboran, y a partir de esta información y la derivada de sus valores e intencionalidades personales sea capaz de diseñar su personalidad buscando la simbiogénesis sinérgica de los sistemas cerebrales con los que opera. El alumno debe trabajar conscientemente como escultor de su propio cerebro (Ramón y Cajal, 1941) y con delicadas técnicas de bonsaismo neuronal hacer crecer al máximo y podar su propio árbol neuronal a través de un pensamiento activo que incluye el aprendizaje de los procesos de memorizar y de desmemorizar. El diseño y construcción de robots en las aulas combinando Lego con Lego, evidencia los principios de la cibernética con un enfoque no mecanístico, sino plenamente humanístico que favorece que los alumnos comprendan su propia cognición (Papert, 1994). Los conocimientos conceptuales sobre los avances en neurobiología van a dotar a los alumnos de información para controlar su acción de pensar, tomar sus decisiones y para valorar el papel liberador de la ciencia. El conocimiento sobre el funcionamiento del cerebro, la acción de las drogas y los problemas de la cosmética de la personalidad, las enfermedades mentales, y las del envejecimiento coadyuvarán a la formación de la personalidad, incluyendo la superación de los problemas de discriminación sexual que se resolverán más efectivamente con el conocimiento de las semejanzas y las diferencias sexuales del cerebro. La formación de las actitudes de los alumnos debe estar informada por el conocimiento de la relevancia del sistema de las emociones. Damasio (1994) indica la aparente paradoja de que la base de la racionalidad es la *pasión por la razón* y que la razón emergió como un mecanismo de ayuda a la supervivencia de los organismos, siendo, por tanto, las emociones una parte vital del proceso de razonamiento. En España, la propuesta de hábitos científicos formulada por Ramón y Cajal (1941) debe ser el norte que oriente la formación de actitudes en la enseñanza de las ciencias en el contexto de una ética neuronal en la que el hombre modela su propio cerebro y, consiguientemente, es responsable de obtener el máximo de su dotación genética en su desarrollo personal.

En la arena de la enseñanza de las ciencias no hay una teoría general única. Los autores se definen en este punto antirreduccionistas y defienden que la enseñanza de las ciencias no se intente basar en una sola teoría general, sino en las explicaciones específicas sobre los distintos subsistemas que componen el cerebro y el cuerpo humano. Ahora bien, en este artículo se propone como una aproximación un modelo de evolución cognitiva de enfoque darwiniano. La ausencia de una teoría general con absoluta validez obliga a que los profesores eviten la tendencia a que cuando se ha aprendido a hacer algo se continúe haciéndolo y a entrar en la dinámica de la búsqueda perpetua (Popper, 1994), autoentrenándose en disfrutar con la solución de problemas. La experiencia de la transitoriedad del conocimiento, se equilibra con la convicción de la relevancia de este estado para la evolución del conocimiento. En este teatro de cambio continuo, la formación permanente del profesorado con un enfoque sistemático es una exigencia absoluta que va unida a la provisión de fondos para fomentar la innovación y la evaluación de los proyectos de investigación y formación que se implementen en los centros o Comunidades. La inexistencia de una única teoría con validez general y la diversidad de estilos cognitivos de los alumnos hace razonable una aproximación con una multiplicidad de modelos y estrategias didácticas. El costoso empeño de abordar la diferencia debe beneficiarse del

soporte que ofrecen las tecnologías informáticas y los sistemas expertos (Merrill *et al.*, 1993), de los avances en las redes neurales que aprenden de la experiencia (Hinton, 1993), y de los recientes diseños de automatones infantiles, como Cog, con ojos, oídos, y brazos mecánicos coordinados por un cerebro fundamentado en los conocimientos sobre la neuroanatomía humana (Travis, 1994). Asimismo, la integración de una teoría general de enseñanza debe, con absoluta certeza, incluir los aportes de la didáctica general (Medina y Sevillano, 1990; Rodríguez Diéguez, 1990) y los de la enseñanza de las ciencias (Gil *et al.*), mientras que la implementación del modelo debe configurar redes estructurales funcionales entre los profesores buscando que el pensamiento reflexivo sea enriquecido a través de la confrontación de las ideas (Day, 1993). En forma complementaria, el análisis de la dinámica del dilema entre la defecación y la cooperación (Nowak y Sigmund, 1993; Gance y Huberman, 1994) puede iniciar la búsqueda del beneficio común y apuntar soluciones al problema de la cooperación en las aulas.

Rorty (1993) enfatiza algunos aspectos del pensamiento de Freud en el sentido de considerar el *sí mismo como una red de creencias y deseos carentes de centro*. Gazaniga (1985) y Minsky (1987) consideran a la mente como una "sociedad" de elementos que se complementan y compiten entre ellos. La existencia de esta multiplicidad parece que justifica una cultura humanista amplia y diversa. No se puede hablar ya de dos culturas sino de muchas, empero en un esquema de simplificación la neurobiología debe ser uno de los más fuertes nexos de unión del abismo abierto entre ciencia y humanismo. Integrar el funcionamiento de los sistemas del cerebro es una condición para disminuir las tensiones derivadas de todo funcionamiento de un sistema plural, de otra manera el caos se va a instalar en forma permanente. Como contrapunto a la visión convencida y apasionada de una enseñanza de las ciencias apoyada en la propia ciencia, los autores aseveran su convicción de que la ciencia es una herramienta que nunca va a suprimir la parte misteriosa de la persona y que el planteamiento de este artículo debe valorarse también en el contexto del *pensiero debole* (Vattimo, 1990) en el sentido de no pretender una crítica total al pensamiento en enseñanza de las ciencias. Asimismo, la enseñanza de las ciencias debe intentar fomentar el desarrollo de personas con tolerancia al cambio perpetuo y con una visión escéptica y lúdica. En el ámbito de las tres funciones ejecutivas de la personalidad propuestas por Cloninger (1994) -autodirección, cooperación, y autotranscendencia- la elección de una enseñanza de las ciencias basada en la neurobiología ofrece al alumnado las máximas posibilidades para el desarrollo de los tres campos citados. La participación en la ciencia como un todo unitario puede facilitar fulguraciones creativas que se expresan en electroencefalogramas con una gran coherencia de actividad en las áreas corticales homólogas tal como es percibido en forma subjetiva en los procesos de trascendencia. Desde el respeto a todas las creencias los autores aseveran que la emergencia de la cibercultura y la neurocultura pueden ser nuevas fronteras en el camino de liberar al hombre de la prisión de la propia mente. Si la ciencia es la más bella de todas las cosas, la ciencia sobre como las neuronas elaboran la ciencia es la más sublime de todas las bellezas. Desde el arte histológico y gráfico de Cajal a las imágenes obtenidas con emisión de positrones, la belleza es el argumento definitivo en la enseñanza y en la vida y los autores tienen la convicción de que muchos alumnos serán capaces de apasionarse por lo sublime del cerebro, y aprenderán a actuar considerando las paradojas derivadas de la complejidad. Los seres vivos intervienen en la creación de sus propios ambientes, y, por tanto, la invención de una nueva ecología afecta a la evolución. Cada día el profesor dispone de más herramientas para crear conscientemente ambientes educativos con una ecología que favorezca al máximo el desarrollo humano de sus alumnos, y consiguientemente paulatinamente es más capaz de influir en una evolución en la que predominen las tendencias hacia un Renacimiento Humanista.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ADOPHS, R., TRANEL, D., DAMASIO, H. & DAMASIO, A. (1994): "Impaired recognition of emotion in facial expressions following bilateral damage to the human amygdala". *Nature* 372 (6507), 669-672.
- ANDERSON, O.R. (1992): "Some interrelations between constructivist models of learning and current neurobiological theory with implications for science education". *Journal of Research for Science Teaching* 29 (10), 103 - 158.
- BALLICE-GORDON, R.J. & LITCHMAN, J.W. (1994): "Long-term synapse loss induced by focal blockade of postsynaptic receptors". *Nature* 372, 519-524.
- BLISS, T.V.P. & COLLINGRIDGE, G.L. (1993): "A synaptic model of memory: long-term potentiation in the hippocampus". *Nature* 361, 31-39.
- BORGES, J.L. (1956): *Funes el memorioso*. Edición: Alianza cien, 1993, 3.
- CALVIN, W.H. (1994): "The emergence of intelligence". *Scientific American* 271 (4), 78-85.
- CHANGEUX, J.P. (1983): *L'homme neuronal*. Arthème Fayard, París.
- CHANGEUX, J.P. (1992): "Las neuronas de la razón". *Mundo científico* 12 (127), 716-725.
- CHANGEUX, J.P. & CONNES, A. (1989): *Matière a pensée*. Arthème Fayard, París.
- CLONINGER, C.R. (1994): "Temperament and personality". *Current Opinion in Neurobiology* 4, 266-273.
- DAMASIO, A. (1994): *Descartes's Error*. Grosset/Putnam.
- DAMASIO, A. (1994): "Descartes's error and the future of human life". *Scientific American* 271 (4), 116.
- DAMASIO, H., GRABOWSKI, FRANK, R., GALABURDA, A.M. & DAMASIO, A.R. (1994): "The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient". *Nature* 264, 1102-1104.
- DARWIN, Ch. (1859): *The Origin of Species*. (Numerosas ediciones en español: Grijalbo, 1957; Edaf, 1965; Bruguera, 1967;...)
- DAY, C. (1993): "Reflexion: a necessary but not sufficient condition for professional development". *British Educational Research Journal* 19 (1), 43-54.
- DREVETS, W.C., BURTON, H., VIDEEN, T.O., SNYDER, A.Z., SIMPSON, Jr. & RAICHLE, M.E. (1995): "Blood flow changes in human somatosensory cortex during anticipated stimulation". *Nature* 373, 249-252.
- EDELMAN, G. (1992): *Bright Air, Brilliant Fire: On the Matter of the Mind*. Basic Books/Allen Lane.
- EILERS, J., AUGUSTINE, G.J. & KONNERTH, A. (1995): "Subthreshold synaptic Ca²⁺ signalling in fine dendrites and spines of cerebellar Purkinje neurons". *Nature* 373, 155-158.
- FOX, P.T. & LANCASTER, J.L. (1994): "Neuroscience in the net". *Science* 266, 994-996.
- FUSTER, J.M. (1993): "Frontal lobes". *Current Opinion in Neurobiology* 3, 160-165.
- GAZZANIGA, M.S. (1985): *The social brain. Discovering the networks of the mind*. Basic Books Inc.
- GIL, D., CARRASCOSA, J. y MARTINEZ, J. (1991): *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Horsori, Barcelona.
- GLANCE, N.S. & HUBERMAN, B.A. (1994): "The dynamics of social dilemmas". *Scientific American* 270 (3), 58-63.
- GRACIAN, B. (1647): *El arte de la prudencia*. Numerosas ediciones. 1993: 151 Ediciones Temas de Hoy, Madrid.
- GOLDMAN-RAKIC, P.S. (1993): "La memoria funcional y la mente". *Investigación y ciencia* 194, 69 - 75.
- HINTON, G.E. (1992): "How neural networks learn from the experience". *Scientific American* 267 (3), 244-251.
- HURD, P. (1991): "Issues in linking research to science teaching". *Science Education* 75 (6), 723-732.
- ITO, M. (1994): "La plasticidad de las sinapsis". *Mundo científico* 150, 846-853.
- JAY GOULD, S. (1994): "La evolución de la vida en la tierra". *Investigación y ciencia* 219, 54-61.
- JAMES, W. (1890): *The principles of psychology*. Henry Holt and Co. (Reimpresión: Dover; 1950).
- KANDEL, E.R. y HAWKINGS, R.D. (1993): "Bases biológicas del aprendizaje y la individualidad". *Investigación y Ciencia* 194, 49-57.
- KARNI, A., TÄNNE, D., RUBENSTEIN, J.J.M., & SAGI, D. (1994): "Dependence on REM sleep overnight improvement of a perceptual skill". *Science* 265, 679-681.
- KLOPFER, L.E. (1991): "75 Years of science education". *Science Education* 75 (6), 611-612.
- KNOX, B.J. & SQUIRE, L.R. (1993): "The learning of categories: parallel brain systems for item memory and category knowledge". *Science* 262, 1747-1749.
- KOSHLAND, D.E. (1994): "Molecule of the year. The DNA repair enzyme". *Science* 266, 1925.
- KUHN, T.S. (1970): *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.
- LANDA, L.N. (1993): "Landamatics ten years later". *Educational Technology* 6, 7-18.
- LEDoux, J.E. (1994): "Emoción, memoria y cerebro". *Investigación y ciencia* 215, 38-45.
- LLINAS, R. (1995): "Thorny issues in neurons". *Nature* 373, 107-108.
- MARGULIS, L. (1992): *Symbiosis in cell evolution*. W.H. Freeman, New York.
- MARTINEZ, M.A. & SAULEDA, N. (1993): "Evaluación de software educativo". *Enseñanza. Anuario Interuniversitario* 10/11, 161-176.
- MARTINEZ, M.A. y SAULEDA, N. (1994): "La disparidad entre la retórica del investigador y la práctica en el aula: el software de escenario como medio de aproximación". *Tossal. Revista Interdepartamental de Investigación Educativa* 2/3, 55-65.
- MCCLELLAND, J.L. & PLAUT, D.C. (1994): "Computational approaches to cognition: top-down approaches". *Current Opinion in Neurobiology* 3, 209-216.
- MEDINA, A. Y SEVILLANO, L.M., (Coords.) (1990): *Didáctica-adaptación*. UNED, Madrid

- MERRIL, M.D., LI, Z. & JONES, M.K. (1993): "Instructional transaction shells: Responsibilities, methods and parameters". *Educational technology* 2, 5-25.
- MINSKY, M. (1987): *The society of mind*. Simon & Shuster.
- NOWAK, M. & SIGMUND, K. (1993): "A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the Prisoner's Dilemma game". *Nature* 364, 56-58.
- PAPERT, S. (1994): *The children's machine: rethinking the school in the age of computer*. Harvester Wheatsheaf.
- PARASUMANAN, R. & MARTIN, A. (1994): "Cognition in Alzheimer's disease: disorders of attention and semantic knowledge". *Current opinion in neurobiology* 4, 237-244.
- PASCUAL-LEONE, A., GRAFMAN, J. & HALLET, M. (1994): "Modulation of cortical motor maps during development of implicit and explicit knowledge". *Science* 263, 1287-1289.
- PETRIDES, M. (1994): "Frontal lobes and behaviour". *Current opinion in neurobiology* 4, 207-211.
- PICTON, T.W. & STUSS, D.T. (1994): "Neurobiology of conscious experience". *Current opinion in Neurobiology* 4, 256-265.
- POPPER, K. (1994): *En busca de un mundo mejor*. Paidós, Barcelona.
- RAICHLE, M. (1994): "Visualizing the mind". *Scientific American* 270 (4), 36-42.
- RAMON Y CAJAL, S. (1941): "Reglas y consejos para la investigación científica", 13, Ed. 1991. Espasa-Calpe, Madrid.
- RODRIGUEZ, J.L. (1990): "Evaluación formativa y evaluación sumativa". En A. Medina Rivilla y M.L. Sevillano García, *Didáctica-adaptación*. UNED, Madrid.
- RORTY, R. (1993): "Freud y la reflexión moral". En *Ensayos sobre Heidegger y otros pensadores contemporáneos*, 228. Editorial Paidós, Barcelona.
- SAKIMURA, K., KUTSUWADA, T., ITO, I., MANABE, T., TAKAYAMA, CH., KUSHIYA, E., YAGI, T., AIZAWA, SH., INOUE, Y., SUGIYAMA, H. & MISHINA, M. (1995): "Reduced hippocampal LTP and spatial learning in mice lacking NMDA receptor $\epsilon 1$ subunit". *Nature* 373, 151-155.
- SAULEDA, N. (1992): "Propensiones en la enseñanza de las ciencias: El escenario del próximo milenio". *Tossal. Revista Interdepartamental de Investigación Educativa* 1, 11-23.
- SAULEDA, N. & MARTINEZ, M.A. (1994a): "La neurobiología base de la epistemología de la ciencia y de una revolución científica en la enseñanza de las ciencias experimentales". *Tossal. Revista Interdepartamental de Investigación Educativa* 2/3, 207-216.
- SAULEDA, N. & MARTINEZ, N. (1994b): "Evolución y simbiosis de las propensiones esenciales en el escenario de la enseñanza de las ciencias experimentales". *Enseñanza de las Ciencias* 12 (2), 246-253.
- SHALLICE, T., FLETCHER, P., FRITH, C.D., GRASBY, P., FRANCOVIK, R.S. & DOLAN, R.J. (1994): "Brain regions associated with acquisition and retrieval of verbal episodic memory". *Nature* 368, 633-635.
- SHUMAN, E.M. y MADISON, D.V. (1994): "Locally distributed potentiation in the hippocampus". *Science* 263, 532-536.
- SNYDER, S.H. & BREDET, D.S. (1992): "Biological roles of nitric oxide". *Scientific American* 266 (5), 28-35.
- TRAVIS, J. (1994): "Building a baby brain in a robot". *Science* 264, 1080-1082.
- TURRIGIANO, G., ABBOT, L.F. & MARDER, E. (1994): "Activity-dependent changes in the intrinsic properties of cultured neurons". *Science* 264, 974-977.
- VATTIMO, G. (1990): *La sociedad transparente*. Paidós, Barcelona.
- WILSON, M.A. & McNAUGHTON, B. (1994): "Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep". *Science* 265, 676-679.
- ZEICHNER, K.M. (1994): "Research on teacher thinking and different views of reflective practice in teaching and teacher education". En, I. Carlgren, G. Handal, y S. Vaage, *Teachers' Minds and Actions*. The Falmer Press, London.