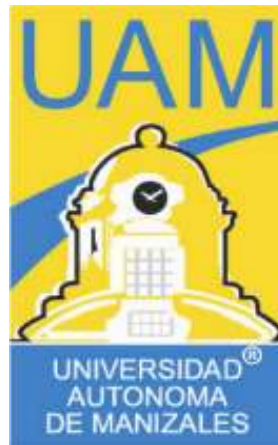


**UNA TEORÍA FUNDAMENTADA EN EL META-ANÁLISIS DE DATOS
NEUROCIENTÍFICOS SOBRE EL PAPEL DE LA METACOGNICIÓN EN EL
APRENDIZAJE**

ALEJANDRO VERA GONZÁLEZ, MD

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE ESTUDIOS SOCIALES Y EMPRESARIALES
DEPARTAMENTO DE EDUCACION
MAESTRIA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS
MANIZALES, FEBRERO DE 2013**



**UNA TEORÍA FUNDAMENTADA EN EL META-ANÁLISIS DE DATOS
NEUROCIENTÍFICOS SOBRE EL PAPEL DE LA METACOGNICIÓN EN EL
APRENDIZAJE**

TESIS DE MAESTRIA

Autor

ALEJANDRO VERA GONZÁLEZ, MD

Tutor

DIANA MARCELA MONTOYA, BSc, MSc

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE ESTUDIOS SOCIALES Y EMPRESARIALES
DEPARTAMENTO DE EDUCACION
MAESTRIA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS
MANIZALES, FEBRERO DE 2013**

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a mi Sra. Esposa, Ximena Martínez Osorio, por su paciencia.

A mis padres por haberme inculcado la devoción hacia la academia.

A mi sobrina Valeria por enseñarme lo hermoso de la vida.

A todos mis profesores de la Maestría, especialmente al Dr. Oscar Eugenio Tamayo quien con su rigurosidad en el tratamiento de los temas propios de la didáctica me permitió entender la docencia como algo más que una mera transmisión de contenidos.

A la Dra. Francia Restrepo de Mejía por quien me inicié en este posgrado y a quien le debo gran parte de lo que soy en estos momentos como investigador.

Al Dr. Oscar Moscoso, Q.E.P.D., por su amistad y colaboración en mis días como docente en el Departamento de Ciencias Básicas Biológicas de la Universidad, a quien siempre recordaré como un gran amigo y un guía profesional.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron e hicieron posible la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	PÁG.
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
UNA VISIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN APRENDIZAJE DESDE LAS CIENCIAS COGNITIVAS	1
EL SURGIMIENTO DEL CONCEPTO DE LA METACOGNICIÓN Y LAS DIFICULTADES EN SU DELIMITACION TEÓRICA	2
LA METACOGNICIÓN Y LAS CREENCIAS AFECTIVAS	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
DELIMITACIÓN TEÓRICA DEL ESTUDIO	10
CAPÍTULO II	14
DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	14
REVISION SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA Y META- ANALISIS	14
LA METODOLOGÍA DEL META-ANALISIS DOCUMENTAL	15
MÉTODOS DE LAS REVISIONES SISTEMÁTICAS	18
METANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE NEUROIMÁGENES	21
METODOLOGIA Y MÉTODO DE LA TEORIA FUNDAMENTADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TEORÍA	22
GENERACIÓN DE TEORÍA FUNDAMENTADA EN DATOS BIBLIOGRÁFICOS	27
USO DE LA METODOLOGÍA DEL META-ANÁLISIS Y DEL MÉTODO DE LA TEORÍA FUNDAMENTADA EN ESTA INVESTIGACIÓN	31
CAPÍTULO III	33
REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA EVIDENCIA CLÁSICA DESDE LA PSICOLOGÍA COGNITIVA SOBRE LOS SUSTRATOS NEURALES DE LA METACOGNICIÓN Y LAS FUNCIONES EJECUTIVAS, Y SU RELACIÓN CON EL APRENDIZAJA EN	33

TAREAS SIMPLES	
EL CONOCIMIENTO METACOGNITIVO Y LA REGULACIÓN METACOGNITIVA	33
LA DIFERENCIACION ENTRE UN NIVEL COGNITIVO Y UN NIVEL METACOGNITIVO EN LA REGULACIÓN DE LA METACOGNICIÓN	34
CORRELATOS NEURALES DE LA REGULACION METACOGNITIVA EN EL MODELO DE NELSON Y NARENS: EVIDENCIAS NEUROPSICOLÓGICAS Y DE LABORATORIO	37
CORRELATOS NEURALES DE LAS FUNCIONES EJECUTIVAS	41
REGULACIÓN METACOGNITIVA Y FUNCIONES EJECUTIVAS: DOS DENOMINACIONES PARA UN MISMO GRUPO DE FUNCIONES CEREBRALES?	48
CAPÍTULO IV	52
REVISION SISTEMÁTICA DE LA EVIDENCIA MÁS ACTUAL DESDE LA NEUROCIENCIA COGNITIVA SOBRE EL FUNCIONAMIENTO COGNITIVO Y EMOCIONAL DURANTE TAREAS COMPLEJAS DE APRENDIZAJE	52
EL APORTE DE LAS TAREAS “CLÁSICAS” DE LAS F.E. Y DE LOS PARADIGMAS DE LA METAMEMORIA A LA COMPRENSIÓN DEL FUNCIONAMIENTO CEREBRAL DURANTE EL APRENDIZAJE EN AMBIENTES CONTROLADOS	53
LOS EFECTOS DEL APRENDIZAJE SOBRE EL FUNCIONAMIENTO CEREBRAL	54
LA REALIDAD DEL DESEMPEÑO ESCOLAR NORMAL: LA REALIZACIÓN DE MULTIPLES TAREAS COGNITIVAS Y MOTORAS ES LA REGLA, NO LA EXCEPCION	55
EL APRENDIZAJE Y LA TOMA DE DECISIONES	61
LA CORTEZA PREFRONTAL ROSTRAL Y EL CONTROL COGNITIVO Y EMOCIONAL DURANTE LA TOMA DE DECISIONES	62
NUEVAS PERSPECTIVAS DE LA DINAMICA CEREBRAL DURANTE EL APRENDIZAJE Y EL CONTROL EMOCIONAL	66
CAPÍTULO V	68

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL META-ANÁLISIS A ESTUDIOS DE NEUROIMAGENES PARA LA OBTENCIÓN DE LA MEJOR EVIDENCIA DISPONIBLE SOBRE EL FUNCIONAMIENTO CEREBRAL DURANTE EL APRENDIZAJE DE TAREAS COMPLEJAS	68
META-ANÁLISIS DE ESTUDIOS DE NEUROIMAGENES	68
APLICACIÓN DEL PROCESO (MÉTODO) DE LA TEORÍA FUNDAMENTADA PARA LA CODIFICACIÓN, GENERACIÓN DE CATEGORÍAS Y SUPERCATEGORÍAS A PARTIR DE LOS DATOS BIBLIOGRÁFICOS	77
CONCLUSIONES	97
CAPÍTULO VI	99
ELEMENTOS PARA LA FORMULACION DE UNA TEORÍA FUNDAMENTADA EN DATOS NEUROCIENTÍFICOS SOBRE LAS RELACIONES ENTRE LA METACOGNICIÓN Y EL APRENDIZAJE DURANTE EL DESEMPEÑO DE TAREAS COMPLEJAS. PRESENTACIÓN DE UN MODELO DE FUNCIONAMIENTO CEREBRAL DURANTE EL APRENDIZAJE Y ALGUNAS CONSIDERACIONES PARA SU APLICACIÓN EN EL AULA	99
LA IMPORTANCIA DE LOS MÉTODOS NEUROCIENTÍFICOS CONVERGENTES PARA EL ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO CEREBRAL DURANTE EL APRENDIZAJE	99
UNA TEORÍA DE LA METACOGNICIÓN FUNDAMENTADA EN LOS CAMBIOS CEREBRALES DURANTE EL APRENDIZAJE	101
EL PAPEL DE LOS SISTEMAS CEREBRALES QUE SOPORTAN EL APRENDIZAJE EN EL CAMBIO CONCEPTUAL DURANTE EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS. UTILIDAD DEL MODELO PLANTEADO PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS	107
CONCLUSIONES	113
CAPITULO VII	115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
CONSIDERACIONES FINALES	115

CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES	119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

UNA VISIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN EL APRENDIZAJE DESDE LAS CIENCIAS COGNITIVAS

Los estudios sobre los procesos educativos y la práctica de los mismos, se centran cada vez más en el aprendizaje. Qué puede ser aprendido, cómo se aprende y para qué se aprende son preguntas que cobran cada día mayor relevancia en cuanto las posibles respuestas a las mismas pueden contribuir de manera decisiva al mejoramiento de la calidad educativa. La consideración central que enmarca esta investigación es que los procesos cognitivos y la metacognición constituyen dimensiones del aprendizaje y que el conocimiento de su sustrato biológico permitirá guiar las investigaciones en este campo tan importante para la enseñanza de las ciencias.

La era del conocimiento y el aprendizaje presenta retos impresionantes a la educación y a la innovación didáctica, pues pone al descubierto la distribución desigual de los recursos cognitivos en el mundo. La sociedad en su conjunto necesita una educación para toda la vida y con ciudadanos preparados para el aprendizaje constante (Tünerman, 1990).

Estos nuevos retos y roles de la cultura sobre el aprendizaje (Delors, 1996) se han de materializar en cuatro pilares fundamentales: aprender a aprender y a conocer, combinando una cultura general con la particular; aprender a hacer incidiendo en la formación de competencias para trabajar y transformar la sociedad; aprender a vivir juntos respetando a los demás; y aprender a ser desarrollando la personalidad y la autonomía.

Las relaciones de la didáctica de las ciencias con las ciencias cognitivas, especialmente con la psicología cognitiva, marcan sucesivas etapas de consolidación de esta disciplina. Actualmente, el aprendizaje es visto como objeto de estudio en tanto que es una actividad de gestión de saberes científicos en el aula. Los modelos didácticos y los psicológicos son distinguibles entre sí por sus intereses teóricos y prácticos, y por la atención que prestan a los contenidos específicos. Además, la atención al aprendizaje ha permitido a la didáctica de las ciencias conectarse a, y en muchos casos fundirse con, los estudios de naturaleza cognitiva (neurociencia, inteligencia artificial, teoría de sistemas expertos).

El estudio de la cognición es relevante para muchos campos, y los investigadores de diversas disciplinas han contribuido a la comprensión de la mente. Estas disciplinas incluyen la Psicología, la

Filosofía, la Lingüística, la Inteligencia artificial, la Antropología, la Educación y la Neurociencia. De hecho, muchos investigadores cognitivos son a la vez multidisciplinarios, trabajando en una variedad de campos, e interdisciplinarios, integrando los aspectos de las diferentes disciplinas. El creciente campo de la ciencia cognitiva surgió de la perspectiva de que la investigación cognitiva debe abarcar múltiples disciplinas. (Wiley y Jee, 2011)

Las teorías sobre el aprendizaje han ido abandonando progresivamente los modelos según los cuales el conocimiento del sujeto era una simple réplica de la realidad, basada en la práctica, acercándose a posiciones de acuerdo con las cuales el conocimiento alcanzado por una persona es producto de la interacción entre la información presentada y los conocimientos anteriores que posee, incluyendo estos últimos tanto los conocimientos específicos correspondientes al área donde se ubica la información, como los conocimientos acerca de la cognición humana, abarcando la conciencia de sus características idiosincrásicas como pensador y de los modos generales de pensamiento; de este modo, se tiene que las teorías psicológicas del aprendizaje se orientan cada vez más al análisis de la interacción entre la información que se ha de aprender y los procesos cerebrales mediante los cuales dicha información es procesada por el sujeto (Pozo, 1990).

Toda la cognición humana y el aprendizaje, incluyendo sentir, pensar, crear, recordar y decidir, se originan en procesos que ocurren en el cerebro. Estos procesos operan mediante la manipulación de las representaciones mentales cargadas de información, que, o son recuperadas de la memoria, o construidas a partir de la información sensorial. De esta manera, la mente puede entenderse como un procesador de información, adicionando continuamente a su repertorio de representaciones mentales, así como produciendo comportamientos físicos evidentes. El estudio de la cognición humana se convierte así en el estudio de las características del procesamiento de información de la mente: ¿Cuál es la naturaleza de las representaciones? ¿Cómo son manipuladas? ¿Cuánta información puede estar activa a la vez? ¿Cómo se puede regular efectivamente el aprendizaje? Los investigadores cognitivos tienen que ver con el descubrimiento de tales hechos acerca de la cognición, con el objetivo fundamental de explicar el comportamiento humano en sus diversas formas, incluido el aprendizaje (Wiley y Jee, 2011).

EL SURGIMIENTO DEL CONCEPTO DE LA METACOGNICIÓN Y LAS DIFICULTADES EN SU DELIMITACION TEÓRICA

El campo de la investigación cognitiva, dándose cuenta del potencial de la teoría del procesamiento de la información y basándose en suposiciones básicas acerca de la arquitectura de la memoria, floreció en el último cuarto del siglo XX (Miller, 2003). Nuevas áreas de investigación surgieron, explorando una serie de fenómenos cognitivos, desde los procesos más básicos, como la percepción y el

reconocimiento de patrones, a los más complejos procesos de orden superior, como la comprensión y la resolución de problemas. Respetando esta base cognitiva, John Flavell acuñó el término de metacognición durante sus estudios de posgrado en la Universidad de Stanford hacia finales de los años 70 (Flavell, 1979), basándose principalmente en los trabajos doctorales de John Hart (Hart, 1965) y en los trabajos de Brown y McNeil (Brown y McNeil, 1996). Flavell conceptualizó la metacognición como el conocimiento, la conciencia y el control que una persona tiene de sus procesos cognitivos. Este psicólogo del desarrollo cognitivo aportó con su trabajo una teoría de base cognitiva para el concepto de metacognición, que a pesar de no contar con un consenso entre todas las ciencias cognitivas (Dinsmore et al, 2008) se entiende como la "cognición de las cogniciones".

El constructo de la metacognición ha tenido un gran atractivo y una amplia aplicación, estimulando una gran cantidad de investigación en un amplio espectro de disciplinas. La investigación actual se extiende por diferentes disciplinas como la Educación, el Desarrollo cognitivo, la Psicología clínica, la Cognición social, la Psicología comparada, y la Psicología cognitiva, así como los campos de la Neurociencia, la Lingüística, el Aprendizaje de un segundo idioma, la Educación especial, y los Trastornos del habla y la comunicación.

Una vez que los psicólogos del desarrollo comenzaron a estudiar la metacognición en la década de 1970, el constructo atrajo rápidamente la atención de los investigadores educativos que buscaban una explicación de por qué algunos estudiantes les va mejor en la escuela que a otros. El hallazgo consistente durante más de 30 años de investigación en esta área ha sido que los estudiantes que tienen más éxito en un dominio exhiben mayores niveles de conocimiento metacognitivo sobre el dominio y son más hábiles en la regulación de sus procesos cognitivos. Las intervenciones educativas para promover la metacognición rápidamente se hicieron populares, y lo siguen siendo hoy (Baker, 2011).

Las investigaciones más recientes en el ámbito educativo consideran a la metacognición como especialmente importante para la educación y para la didáctica de las ciencias, debido a que incide en la adquisición, comprensión, retención y aplicación de lo que se aprende (Tamayo, 2004). Para algunos, la metacognición es una de las habilidades más importantes que definen el pensamiento científico dado que a través de ella se considera que la persona es capaz de pensar explícitamente acerca de las ideas o concepciones que tiene (Kuhn y Dean, 2004); es la habilidad de aprender a aprender.

A pesar de su amplio uso, el problema que advierten muchos investigadores es la falta de un consenso sobre su formulación teórica (Tarricone, 2011; Fleming y Dean, 2012) lo que ha dado lugar a dificultades en el análisis de los procesos y en la fundamentación de las estrategias que buscan implementar la metacognición en el aula (Martí, 1995; Kuhn y Dean, 2004). Y es que el término

metacognición tiene tantas definiciones como investigadores se han dedicado a éste (Tarricone, 2011). Para algunos la metacognición es el “pensamiento acerca del pensamiento” (Babbs y Moe, 1983; Yussen, 1985), para otros representa los “juicios cognitivos acerca de estados cognitivos y habilidades cognitivas” (Paris y Winograd, 1990), para otros más son los “reflejos mentales” (Antaki y Lewis, 1986) o los “pensamientos acerca de la cognición” (Yussen, 1985); algunos más la definen como “pensar el propio pensamiento” o hacer “reflexiones sobre la cognición” (Schoenfeld, 1987) o “cognición acerca de la cognición” (Georghiades, 2004; Kluwe, 1982). Esta diversidad de terminología hace que sea difícil sistematizar y presentar a la metacognición como un constructo organizadamente logrado.

A pesar de que el término metacognición significa diferentes cosas para las diferentes personas que lo han investigado (Tarricone, 2011), la mayoría de los investigadores coincide en que la metacognición involucra dos componentes básicos: conocimiento de la cognición y regulación de la cognición (Flavell, 1979; Brown, 1983; Tarricone, 2011). El conocimiento de la cognición se relaciona con la habilidad de reflexionar sobre los procesos cognitivos propios y de las otras personas; la regulación de la cognición, en cambio, corresponde al uso de estrategias que permiten controlar los esfuerzos cognitivos propios. Algunos autores han incorporado el término de monitoreo (Baker, 1991), que se utiliza para abarcar la evaluación del estado del proceso cognitivo en un momento dado y la regulación que en este sentido se refiere al uso de estrategias que se aplican a detectar un fallo en la comprensión. El monitoreo incluiría el uso de mecanismos de autorregulación para planificar, evaluar y probar la eficacia de las estrategias, cambiarlas en caso de ser necesario y remediar las dificultades encontradas durante el proceso (Brown, 1985, 1987).

Diversos autores han coincidido en distinguir entre las actividades cognitivas consideradas parte de la regulación metacognitiva. Entre ellas, las más frecuentemente mencionadas son supervisión o monitoreo, la planificación, las estrategias para el uso de la información y la evaluación (Schraw, 2001). Aunque parecería que con el tiempo hubiese habido cierta tendencia al consenso, para algunos la regulación (que denominan control) abarca las actividades de planificación, monitoreo y evaluación (Sternber, 1998). Sin embargo, subsisten las nomenclaturas y subclasificaciones diversas. Así, para algunos es el monitoreo el que tiene tres componentes: planificación, evaluación y revisión de las estrategias que no han resultado efectivas (Erlich, 1999). Otros creen necesario distinguir entre regulación y control; denominan con el primer término la fijación de objetivos y prioridades, la distribución de los recursos cognitivos y la decisión de abandonar la tarea, darla por terminada o continuarla; y reservan el término control para abarcar la planificación, la supervisión (que en esta visión equivale al monitoreo) y la evaluación de los resultados (Moreno, 1995).

Existe una gran variedad de términos para referirse al segundo componente de la metacognición, el cual se ha identificado como el más importante para los fines educativos (Martí, 1995; Tamayo, 2004). Llámese control, regulación, supervisión o monitoreo, siempre se está haciendo referencia a actividades que se realizan con la finalidad de asegurar el éxito, es decir, el logro de la meta fijada. En otras palabras, es esta actividad la que asegura que la conducta del sujeto sea una conducta estratégica, flexible y dinámica, y no meramente mecánica. A pesar de su importancia para la educación, las bases psicológicas y neurales de la regulación metacognitiva siguen siendo mal entendidos (Fleming y Dean, 2012).

LA METACOGNICIÓN Y LAS CREENCIAS AFECTIVAS

Existe un fuerte vínculo entre el afecto y la metacognición (Gourgey, 1998; Hartman, 2001, Hartman y Sternberg, 1993; Schoenfeld, 1987). Algunos investigadores consideran que las creencias afectan directamente los procesos metacognitivos, pero no son necesariamente un elemento específico de la metacognición (Desoete et al, 2001; Hartman, 2001; Hartman y Sternberg, 1993; Schraw, 2001). Otros consideran que las creencias son un elemento más de la metacognición (Schoenfeld, 1987; Tsai, 2001; Wells, 2000). Se considera que la metacognición incluye no sólo el conocimiento de la cognición, sino también las creencias y conocimientos sobre las estrategias que serían más eficaces en la solución de una tarea en particular, incluyendo el conocimiento de los obstáculos (Antonietti et al., 2000). Las creencias metacognitivas (creencias acerca de la cognición que implican comprensiones, opiniones e interpretaciones de la propia cognición y la de otros) se consideran parte integral de los procesos metacognitivos como la autorregulación, el monitoreo y control de los procesos de aprendizaje (Schoenfeld, 1987; Wells, 2000).

Los elementos afectivos influyen directamente en los procesos metacognitivos y también se identifican como creencias metacognitivas. Estas incluyen las creencias atribucionales, actitudes, emociones, impulsos, y la autoestima (Hartman, 2001a; Hartman y Sternberg, 1993; Paris y Winograd, 1990; Wells, 2000). Tanto el conocimiento como el control y monitoreo metacognitivos se ven afectados por las creencias y las emociones (Flavell et al, 1993; Wells, 2000). Wells (2000) analiza las creencias sobre el pensamiento como parte del conocimiento de sí mismo que es un elemento del conocimiento metacognitivo. Él explica que el conocimiento metacognitivo incluye los procesos explícitos e implícitos. Pueden haber procesos implícitos, tales como “planes implícitos que guían el procesamiento y operan en gran medida fuera de la conciencia” (p. 19).

La resolución de problemas requiere una serie de disposiciones afectivas, sobre todo confianza en sí mismo, creencias y prejuicios, y se ve afectado por las emociones fuertes ya sea para facilitar o impedir el proceso, incluso rompiendo los estados mentales (Meacham y Emont, 1989; Zajonc y

Markus, 1984). Los elementos afectivos, tales como las emociones y actitudes, pueden inhibir la utilización y selección exitosas de estrategias metacognitivas efectivas (Zan, 2000). Hay una fuerte relación entre el sentimiento de las creencias y el proceso de resolución de problemas, sobre todo en la resolución de problemas complejos (Meacham y Emont, 1989).

Teniendo en cuenta que la metacognición se ha estudiado clásicamente en términos de cómo se relaciona con la cognición, este trabajo incluyó entre sus motivaciones, el papel que juega el afecto en la metacognición y el aprendizaje, dado que actualmente se reconoce que no se puede entender cómo y por qué las personas se desempeñan como lo hacen en tareas cognitivas sin un examen profundo de los factores motivacionales y afectivos, así como los metacognitivos, que lo propician (Wiley y Jee, 2011).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Aprender un contenido y percibir cómo sucedió la comprensión o darse cuenta de que no se entendió son ejemplos del fenómeno de la metacognición. A pesar de que la amplitud del proceso metacognitivo sea difícil de medir, la ciencia cognitiva cada vez más busca respuestas para explicar este fenómeno, que es familiar para todos, pero que encierra complejidades que los modelos explicativos, hasta hoy, no han podido satisfacer plenamente (Fleming y Dolan, 2012).

Como las funciones de las regiones específicas del cerebro humano están cada vez mejor comprendidas, se puede esperar que la investigación en la neurociencia cognitiva ofrezca nuevas ideas relacionadas con la educación. Por supuesto, una forma en que este tipo de investigación puede ser informativa es dilucidando las formas en que las funciones soportadas por regiones particulares del cerebro se desarrollan durante la infancia. Además, el conocimiento de las bases neurales de procesos cognitivos particulares puede informar a las teorías relevantes para la educación de las formas en que tales procesos cognitivos se interrelacionan. A su vez, puede tener importantes consecuencias para la comprensión de las formas en que el aprendizaje y el desarrollo dentro de un dominio pueden generalizarse a otro. (Gilbert y Burgess, 2008)

En la última década, se han producido grandes avances en la capacidad de rastrear en forma no invasiva la actividad del cerebro humano. En la actualidad hay más de un centenar de experimentos de rastreo del aprendizaje o desempeño experto. Los patrones están comenzando a surgir y muestran que el aprendizaje y el desempeño cualificado producen cambios en la activación cerebral - y diferentes tipos de cambios - en función de la estructura del cerebro y la naturaleza de la habilidad que se aprende.

Mucho de lo que se cree al respecto de la metacognición se extrapola directamente de los estudios de laboratorio con personas sanas y pacientes con enfermedades cerebrales en el campo de la Psicología cognitiva (Koriat, 2012), por eso se hará evidente en el capítulo tres la dificultad al intentar separar los constructos de la metacognición y otros relacionados con la función cognitiva en términos de sus correlatos neurales usando una visión localizacionista (que ha sido la tradicional) en tareas que no tienen en cuenta las condiciones naturales en las cuales se da el aprendizaje.

Debido a esta tradición, en general, mientras que los educadores se centran a menudo en fortalecer las redes neuronales de habilidades de dominio específico como la lectura y las matemáticas, las redes de dominio general y relacionadas con la emoción funcionan como moduladores y facilitadores de la memoria y del aprendizaje de dominio específico. Estas redes incluyen la emoción, el procesamiento social, la atención y la metacognición.

En el campo de las ciencias cognitivas hay una evidencia incontrovertible que sugiere una tendencia hacia una perspectiva de la neurociencia cognitiva para muchos, si no todos, los aspectos de la cognición y el aprendizaje humanos (Wiley y Jee, 2011). El advenimiento de la resonancia magnética funcional (RMNf) ha hecho posible el uso de paradigmas de comportamiento más cercanos a situaciones de aprendizaje, por lo que un meta-análisis de los datos más recientes de estos estudios podría brindar los elementos apropiados para empezar a develar el sustrato neurobiológico de la metacognición.

Estos nuevos estudios han cambiado nuestra visión del cerebro que ya no se ve solamente como un sistema biológico cableado, herméticamente sellado, como una “caja negra” a la que solamente puede accederse indirectamente; por el contrario, actualmente se concibe al cerebro como un órgano que se desarrolla a través de un proceso activo y dinámico en el que las experiencias sociales, emocionales y cognitivas del niño re-organizan su cerebro con el tiempo, de acuerdo con restricciones biológicas y principios de conectividad sináptica. Al igual que el tejido de una red intrincada y delicada (Fischer y Bidell, 2006), los procesos fisiológicos y culturales interactúan para producir el aprendizaje y la conducta en patrones muy matizados y complejos del desarrollo humano.

El advenimiento de la neuroimagen ha precipitado grandes avances en la comprensión de los neurocientíficos de cómo funciona el cerebro. En el pasado, la tradición localizacionista neurocientífica prevaleció, es decir, las funciones cognitivas fueron mapeadas en lugares específicos en el cerebro, en la gran mayoría de los casos tratando de encontrar una correspondencia uno-a-uno. Sin embargo, los neurocientíficos actualmente entienden que el aprendizaje implica el desarrollo de conexiones entre redes de áreas del cerebro, que se distribuyen a través de muchas regiones. Esto significa que mientras que las áreas específicas del cerebro llevan a cabo tipos característicos de

procesamiento, las habilidades para las tareas del mundo real y académico se incorporan en las redes que reclutan, más que en alguna área específica del cerebro. Por ejemplo, no hay área cerebral de la música, la lectura, o las matemáticas que no este también involucrada en el procesamiento de muchas otras habilidades y dominios (áreas de conocimiento culturalmente construidas). En lugar de un área del cerebro, el aprendizaje parece involucrar activamente la construcción de redes neurales que conectan funcionalmente muchas áreas cerebrales. Debido a la naturaleza constructiva de este proceso, las redes de los diferentes alumnos pueden diferir, de acuerdo con las fortalezas neuropsicológicas y predisposiciones de la persona, y con el contexto cultural, físico y social en el que las habilidades se construyen (Immordino-Yang, 2008). Existen varias vías para el desarrollo efectivo de las habilidades, por ejemplo, en la lectura (Fischer et al, 2007) o las matemáticas (Singer, 2007). Una de las tareas de la educación debería ser proporcionar apoyo a los niños con diferentes perfiles cognitivos para el desarrollo de habilidades eficaces, pero flexibles. Los niños utilizan cualquier capacidad que poseen para aprender las habilidades más importantes en sus vidas, y aunque hay a menudo una forma modal de aprender una habilidad específica, las personas pueden adaptar sus capacidades para aprender habilidades de diversas maneras. Por ejemplo, Knight y Fischer (1992) encontraron que los niños pequeños siguieron una de tres vías para aprender a leer palabras. En el mismo sentido, en el estudio de dos adolescentes de alto funcionamiento que se habían recuperado de la extirpación quirúrgica de la mitad de su cerebro, Immordino-Yang (2007) encontró que cada niño había compensado las deficiencias mediante la transformación de importantes habilidades neuropsicológicas en unas nuevas que se adaptaron a las fortalezas que les quedaron.

El cerebro es un órgano dinámico, plástico, dependiente de la experiencia, social y afectivo. Debido a esto, el debate de siglos sobre la naturaleza versus la crianza es un enfoque demasiado improductivo y dicotómico para la comprensión de la complejidad de las interdependencias dinámicas entre la biología y la cultura en el desarrollo. Las nuevas evidencias destacan cómo los seres humanos son seres esencialmente sociales y simbólicos (Herrmann et al, 2007), y así como algunos aspectos de nuestra biología, incluyendo nuestra genética y nuestro cerebro, dan forma a nuestras tendencias sociales, emocionales y cognitivas, muchos aspectos de nuestra biología, incluidos procesos tan fundamentales como la metacognición, dependen de una adecuada crianza social, emocional y cognitiva. El aprendizaje es social, emocional, y formado por la cultura.

Las personas en el campo de la educación a menudo comienzan con una idea preconcebida de que la biología se refiere a los rasgos con que los niños nacen, que son fijos y se desarrollan independientemente de la experiencia, mientras que las experiencias sociales y culturales de los niños, como la educación, están a merced de estas predisposiciones biológicas, de alguna manera cabalgando encima de, pero sin influenciar, la biología. Sin embargo, la investigación actual en neurociencia refuerza la noción de que las experiencias de los niños dan forma a su biología tanto como la biología

da forma al desarrollo del niño. Los campos de las neurociencias y la biología están llevando a la educación hacia el análisis de la relación dinámica entre la crianza y la naturaleza en el desarrollo y la educación. Una comprensión más matizada de cómo la biología y la experiencia interactúan es sumamente relevante para la educación. En la medida que los neurocientíficos aprendan acerca de qué aspectos de la experiencia tienen más probabilidades de influir en la biología y viceversa, y una vez que estos conocimientos sean validados por los educadores, se podrán desarrollar experiencias educativas cada vez más adaptadas al funcionamiento cerebral, e intervenciones que evalúen la incorporación del conocimiento en las diferentes jerarquías cognitivas de cada alumno de forma individual.

Debido a esta relación bidireccional entre las predisposiciones biológicas de un niño y las experiencias sociales y cognitivas, los campos de la neurociencia y la educación están llegando cada vez más a una asociación investigativa. Esta relación puede ser estudiada en muchos niveles de análisis, desde el funcionamiento de los genes dentro de las células hasta el funcionamiento de las comunidades dentro de las culturas. Sin embargo, para que la nueva información sobre el cerebro y el aprendizaje influya en el diseño de ambientes de aprendizaje, los profesores y otras personas involucradas en la política educativa y su diseño necesitan informarse acerca de los nuevos principios sobre el cerebro y el aprendizaje.

El presente ejercicio de investigación pretende brindar un aporte de carácter teórico en la comprensión de las relaciones conceptuales que pueden establecerse entre los constructos de la metacognición y el aprendizaje desde el punto de vista de la neurociencia cognitiva, a fin de brindar herramientas conceptuales que puedan llevarse al aula para la adecuación y enriquecimiento de ambientes de aprendizaje.

Por lo tanto, este trabajo busca profundizar en el conocimiento sobre el papel de la metacognición en el aprendizaje de tareas complejas (como el paradigma de tarea doble que supone la realización de dos o más tareas en estrecha proximidad temporal (Meyer y Kieras, 1997; Pashler, 1994), que a pesar de estar diseñadas para aplicarse en laboratorio, parecen basarse en los mismos principios del tipo de tareas que se realizan en el aula, las cuales requieren, aparte de unas habilidades académicas básicas bien desarrolladas, de la motivación y de la práctica para mejorar el rendimiento. Estos paradigmas pueden ser analizadas mediante técnicas de neuroimagenología, y el meta-análisis y la discusión de sus resultados permitirán llevar al aula algunos de los conocimientos derivados de la neurociencia.

Dado que el cerebro es el órgano del aprendizaje, desde el punto de vista de la didáctica, el estudio de las bases neurocientíficas del aprendizaje escolar, proporcionará información relevante para que los docentes desde las diversas disciplinas puedan aplicar algunos de los desarrollos de la neurociencia en

función de favorecer el aprendizaje desde el uso de mediaciones más pertinentes con el funcionamiento cerebral, y de ambientes de aprendizaje más enriquecidos y pertinentes desde el punto de vista socio cultural.

Con base en lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el papel de la metacognición en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias cuando se están realizando tareas de aprendizaje complejas que puedan estudiarse utilizando herramientas de la neurociencia cognitiva?

OBJETIVO GENERAL

Establecer las posibles interrelaciones teóricas entre los constructos de metacognición y aprendizaje de tareas complejas, desde el punto de vista de la neurociencia cognitiva, con el fin de brindar herramientas conceptuales que puedan llevarse al aula para la adecuación y enriquecimiento de ambientes de aprendizaje.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Plantear posibles relaciones conceptuales en la comprensión teórica de las bases neurobiológicas de la metacognición desde el análisis de estudios de neuroimagen, que impliquen tareas complejas de laboratorio, similares a las tareas que demandan las habilidades académicas.

Diferenciar el constructo de metacognición de otros procesos cognitivos y afectivos que están implicados en el desempeño efectivo durante el aprendizaje de tareas complejas, con base en investigaciones realizadas en el campo de la neurociencia cognitiva.

Brindar diferentes elementos de carácter teórico en el estudio y comprensión de los procesos cerebrales que subyacen al aprendizaje de tareas complejas similares a las tareas escolares y esbozar un modelo que tenga en cuenta el meta-análisis de las imágenes del funcionamiento cerebral durante estos procesos.

Aportar nuevos elementos teóricos que en el mediano plazo permitan apoyar el diseño, la adecuación y el enriquecimiento de ambientes de aprendizaje, desde el campo de la neurociencia cognitiva.

DELIMITACIÓN TEÓRICA DEL ESTUDIO

Esta investigación tiene un carácter teórico y se asienta en la neurociencia cognitiva. Este trabajo está enfocado en la comprensión teórica de las bases neurobiológicas de un constructo de reciente aparición en la literatura educativa y neurocientífica como lo es la metacognición, y en la exploración metodológica para aportar nuevos elementos teóricos que permitan una mejor definición del mismo, con lo que se busca aportar al desarrollo de ambientes de aprendizaje.

La información extraída de artículos que versan sobre los aspectos cognitivos del aprendizaje en contextos cercanos a los que se requieren para el desempeño en el aula será la mayor fuente de datos incluida en este estudio bibliográfico. No se trata de una investigación eminentemente psicológica sobre un concepto educativo, al contrario, es a partir de las propias experiencias del autor como docente y de las observaciones de muchos teóricos en el campo de la didáctica, que se plantea una nueva conceptualización para la metacognición, tratando de ubicarla en lo más alto de una jerarquía cognitiva como dinamizadora del proceso de aprendizaje, y realizando una precisa delimitación teórica desde la Neurociencia y la Psicología cognitivas para diferenciarla de otros constructos que también se refieren al funcionamiento cerebral durante el aprendizaje y con los cuales aún tiende a confundirse en el marco de las teorías actualmente aceptadas.

Al no tratarse específicamente de una tesis que intenta rebatir un constructo teórico en el campo de la psicología, si no de un trabajo que revisa las raíces cognitivas del constructo de la metacognición partiendo de las propias dificultades y de las dificultades expresadas por otros docentes para aplicar efectivamente las conceptualizaciones de este constructo de la regulación metacognitiva al contexto de aula y favorecer el aprendizaje auto-regulado, es que no se hace una revisión exhaustiva de las tradiciones teóricas Piagetianas ni Vigotskianas ni se realizan paralelos explícitos con teorías sobre las funciones cognitivas propuestas por científicos en el campo de la neurociencia cognitiva como Luria, Ardila, Stuss o Tulving.

Con este estudio se pretende aportar un cuerpo teórico que permita diferenciar más claramente entre las funciones cognitivas y metacognitivas, pues según se apreciará más adelante esta diferenciación no es evidente en la literatura psicológica, neurocientífica y educativa actuales (y es tal vez esta falta de claridad la que se plantea como una de las fuentes de las limitaciones que algunos teóricos expresan que puede haber para el uso de las estrategias de regulación metacognitiva en el aula). Se revisará en primer lugar el origen de la conceptualización sobre los constructos de metacognición y regulación metacognitiva que se hicieron al interior del marco del procesamiento de la información a mediados de la década de los 1970, los cuales fueron retomados en la década de los 1990 para elaborar uno de los modelos teóricos con mayor acogida sobre las bases psicológicas de la metacognición. En segundo lugar, se presentará una revisión sistemática sobre la dinámica cerebral y como ésta es influida por el aprendizaje y las emociones, interpretando a la luz de las teorías cognitivas actuales los hallazgos de

estudios de imagenología cerebral que involucran la realización de paradigmas de aprendizaje complejos. En tercer lugar, al tratarse de una tesis teórica, cuyos datos provienen de fuentes bibliográficas, se aplican tres metodologías bien validadas para este tipo de estudios como la revisión sistemática, el meta-análisis y la teoría fundamentada. En cuarto lugar, dado que otro de los intereses es avanzar en la construcción de interrelaciones novedosas entre metacognición y aprendizaje, se plantea un modelo de funcionamiento cerebral durante el aprendizaje que posiciona los constructos de función ejecutiva y metacognición en el aprendizaje de tareas complejas con base en las interpretaciones de la neurociencia cognitiva.

Para el abordaje de este trabajo se han utilizado dos métodos de investigación con raíces en las ciencias sociales los cuales permitirán profundizar en los aspectos centrales de esta tesis y a través de los cuales se utilizarán los datos bibliográficos como fuentes para plantear nuevas hipótesis.

Se trata, por un lado, de la metodología del meta-análisis, un método de investigación bibliográfico con diversas inclinaciones teóricas y de procedimiento, que es, como su nombre lo indica, el análisis de los análisis. Esta metodología sirve para varios propósitos; uno de ellos es la síntesis de estudios originales para llegar a conclusiones teóricas más generales. El meta-análisis es una actividad fundamental para comprender que se ha hecho en el campo de estudio que se está abordando. Como se revisará más adelante, la principal función del meta-análisis es integrar los resultados de una gran cantidad de trabajos en un área específica y obtener la información más relevante (Glass, 1976). Con esta metodología se lleva a cabo la revisión sistemática de la literatura sobre los aspectos neurocientíficos de la metacognición que se encuentra en los capítulos tres y cuatro de este trabajo. Como se deja claro en el capítulo sobre metodología, se sigue la rigurosidad de la metodología del meta-análisis para seleccionar los estudios que se emplearán para el planteamiento de un modelo teórico de la metacognición en el aprendizaje.

El otro método que se utiliza en este trabajo es el de la teoría fundamentada. Se trata de un método surgido de las ciencias sociales a mediados de la década de los 1970 (Glaser y Strauss, 1967) que, como su nombre lo indica, permite la generación de teorías basadas en los datos que el investigador obtiene. Estos datos pueden tener cualquier origen, y sobre ellos se aplican técnicas validadas de codificación y se permiten abstracciones de orden superior que permiten llegar a conclusiones generales basadas en los datos analizados. Como se mencionó antes, los datos primarios se seleccionarán rigurosamente mediante un meta-análisis de la literatura científica reciente que versa sobre el desempeño de individuos sanos durante el aprendizaje de tareas complejas. A partir de estos estudios, se obtuvieron tres supercategorías con base en las cuales se construyó un modelo teórico para la metacognición que es más cercano al funcionamiento cerebral durante el aprendizaje. La teoría fundamentada será otra gran sección en el capítulo de la metodología. Este modelo tendrá una

corroboración empírica mediante el uso de una herramienta de software de reciente aparición que permitirá demostrar como el modelo presentado y las supercategorías en las que se basa tienen una gran correlación con el funcionamiento cerebral durante el aprendizaje de tareas complejas. La descripción de este software y su utilidad para el trabajo se discutirán junto con la metodología del meta-análisis y de la teoría fundamentada.

CAPITULO II

DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta es una investigación mixta, de base documental, que para su desarrollo adelantó un diseño por etapas en la cual se aplicó en primer lugar un método cuantitativo para generar datos con un alto nivel de evidencia y posteriormente estos datos se transformaron y analizaron utilizando un método cualitativo que permitió extraer de los datos bibliográficos las mejores evidencias disponibles para apoyar la creación de una nueva teoría sobre la metacognición en el aprendizaje.

En este capítulo se exponen los principales postulados teóricos generales sobre:

- 1) La Revisión sistemática de la literatura y la metodología del meta-análisis,
- 2) El Meta-análisis de estudios de imagenología cerebral, y
- 3) El uso de la Metodología de la teoría fundamentada para la creación de teoría

REVISION SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA Y META-ANALISIS

Siguiendo a Letelier et al (2005), se distinguen dos tipos de revisiones de la literatura almacenada en bases de datos con el fin de extraer de ellos la mejor evidencia:

1) Revisiones narrativas: Son aquellas que revisan un tópico de forma más o menos exhaustiva, generalmente por un experto en el tema. Típicamente, este tipo de revisión dará cuenta de muchos aspectos del tópico revisado. En general, el autor presenta el tema en un formato narrativo sin declarar explícitamente los métodos utilizados para obtener y seleccionar la información presentada. Así, este tipo de revisiones son ideales para responder preguntas de preparación para iniciar una investigación y componer un marco teórico.

2) Revisiones sistemáticas (RS) o Meta-análisis: Son aquellas que resumen y analizan la evidencia respecto de una pregunta específica en forma estructurada, explícita y sistemática. Típicamente, se explicita el método utilizado para encontrar, seleccionar, analizar y sintetizar la evidencia presentada. Existen 2 tipos de revisiones sistemáticas:

- a) RS Cualitativas: Cuando se presenta la evidencia en forma descriptiva, sin análisis estadístico, y
- b) RS Cuantitativas: Cuando mediante el uso de técnicas estadísticas, se combinan cuantitativamente los resultados de varios estudios individuales sobre un tema específico.

Las RS son fundamentales para comprender que se ha hecho en un campo de estudio en un tema particular.

Ventajas y limitaciones de las revisiones sistemáticas

Su principal ventaja es la síntesis de información respecto de una pregunta específica que le permitirá al investigador documental resolver sus dudas en forma eficiente. La RS de los resultados permite sintetizar y valorar específicamente toda la evidencia relacionada con un tema puntual, aumentando la potencia de la revisión y la precisión de las estimaciones sobre el valor de la evidencia presentada en los documentos individuales.

Otra de las ventajas de las revisiones sistemáticas es el planteamiento de nuevas hipótesis para futuros estudios, junto con la detección de áreas en que la evidencia científica es escasa.

También permite identificar los sesgos metodológicos y/o teóricos de los autores que han trabajado en un campo particular. Es conocido que gran cantidad de estudios y sus aplicaciones en campos diferentes al que fueron realizados presentan evidentes sesgos metodológicos y/o teóricos que no permiten una comprensión profunda de los resultados obtenidos en el marco disciplinar correspondiente (Montori y Guyatt, 2002; Montori et al, 2000).

Sin embargo, desde el punto de vista del diseño, las RS son estudios retrospectivos por lo cual están sujetas a sesgo en las diversas etapas del proceso: búsqueda, selección, análisis y síntesis de la información. Por esto es fundamental que los autores de una RS hayan tomado todas las precauciones necesarias para evitar que ello ocurra. Una RS garantiza la calidad de los estudios documentales, porque a través de ellos el investigador es capaz de evaluar críticamente la validez de la literatura. La realización de Revisiones Sistemáticas está limitada por la cantidad y la calidad de los estudios que se revisan.

El proceso de una RS es largo y difícil, y requiere tiempo y dedicación. Sin embargo, sus resultados tienen un alto nivel de impacto sobre la evidencia que se recoge en un campo determinado.

LA METODOLOGÍA DEL META-ANÁLISIS DOCUMENTAL

El meta-análisis fue introducido por primera vez en 1976 dentro del campo de las ciencias, para designar “todo análisis estadístico de un gran colección de resultados de la literatura individual, con el propósito de integrar los resultados” (Glass, 1976).

Se ha enfatizado la importancia que tiene el meta-análisis como una actividad investigativa en las ciencias. Glass (1978) afirma que “determinar qué conocimiento ha producido esta aproximación es por si mismo un importante y genuino aporte a la investigación”. La importancia del meta-análisis radica en la capacidad de esta metodología para generalizar los datos empíricos hacia niveles más altos de abstracción.

Varios términos son utilizados de forma intercambiable para referirse a estudios de revisión que sintetizan la literatura primaria en un campo determinado. Aunque la metodología puede no ser intercambiable, si comparten algunas características discursivas. Algunos de estos términos incluyen: revisión de la literatura; revisión de la investigación (Light y Pillemer, 1982); integración de la investigación (Carlberg y Walberg, 1984); revisión integrativa (Jackson, 1980); meta-síntesis (Sandelowski, Docherty, y Emden, 1997); meta-investigación (Rogers, 1985); revisión sistemática (Cook, Sackett, y Spitzer, 1995); y meta-análisis cualitativo (Schreiber, Crooks, y Stern, 1997).

La actividad meta-analítica se lleva a cabo constantemente en la mayoría de las investigaciones (Weed, 2005). Cuando una investigación original incluye una sección de revisión de la literatura o antecedentes del estudio, es porque algún tipo de revisión sistemática se ha realizado. Cuando un investigador se refiere a los estudios anteriores en sus resultados, es porque su investigación realiza una síntesis de estos estudios. Sin embargo, este tipo de trabajo de revisión usualmente carece de los procedimientos sistemáticos característicos de un meta-análisis, por lo que no pueden ser considerados como tal.

Utilidad de la realización de un meta-análisis

Jackson (1980) subraya cuatro propósitos principales por los cuales realizar un meta-análisis:

1. Para apreciar los nuevos desarrollos en un campo determinado.
2. Para verificar teorías existentes o desarrollar unas nuevas.
3. Para sintetizar conocimiento proveniente de diferentes líneas de investigación.
4. Para inferir generalizaciones acerca de aspectos importantes de los estudios originales que se realizan sobre un tema específico.

Cooper y Hedges (1994) señalan los objetivos de un meta-análisis, los cuales incluyen:

1. Integración

- a. Generalización

- b. Resolución de conflictos
- c. Construcción de puentes lingüísticos

2. Criticismo

3. Identificación de aspectos centrales en un campo

Como señala Suri (2000), en un campo de estudio determinado un único estudio difícilmente puede proveer una respuesta generalizable y definitiva a una pregunta de investigación dada las grandes limitaciones que tienen estos estudios en cuanto a diseño muestral y control de las variables. Un enfoque comprensivo de investigación en un área, requerirá por consiguiente una combinación de estudios individuales. El progreso en el conocimiento de un tema sobrevendrá entonces al reconocer las tendencias generales y los principios subyacentes a un gran cuerpo de estudios individuales empíricos en un tema determinado.

Otra de las necesidades a partir de las cuales surge el meta-análisis proviene de las inconsistencias en los hallazgos de diferentes investigaciones. Davies y Crombie (2001) señalan que, en una única área, no es inusual hallar un gran número de publicaciones originales. Muchos de estos estudios, sin embargo, dan “resultados contradictorios, poco claros, y confusos”. Por lo que estas publicaciones vistas individualmente, ofrecen una vaga orientación sobre su propia efectividad. Se espera que al realizar un meta-análisis, emerja un panorama mas claro del campo sobre el que se pretende teorizar.

En el campo de las ciencias cognitivas, la necesidad de un meta-análisis se ha incrementado a causa de

- a) las nuevas bases de datos computarizadas
- b) las recientemente desarrolladas técnicas para la revisión sistemática (los métodos meta-analíticos)
- c) la necesidad que tienen los investigadores de permanecer informados de los nuevos desarrollos en sus áreas de estudio.

Proceso del meta-análisis documental

Davies y Crombie (2001) señalan un proceso general para el meta-análisis (al cual se refieren como una revisión sistemática):

1. Definir una pregunta apropiada
2. Buscar la literatura

3. Evaluar los estudios
4. Combinar los resultados
5. Poner los hallazgos en contexto.

Cooper y Hedges (1994) fijan cinco etapas en el proceso meta-analítico:

1. La formulación del problema
2. La recolección de los datos
3. La evaluación de los datos
4. El análisis y la interpretación
5. Las conclusiones de la revisión

El proceso general del meta-análisis no es muy diferente de aquel que se utiliza para realizar investigación original; aunque los objetivos del primero son resumir, agregar, integrar, sintetizar, verificar y desarrollar nuevo conocimiento con base en la revisión sistemática de estudios originales, lo que lo convierte en un método único.

Aunque el meta-análisis fue la metodología utilizada para llevar a cabo esta investigación, existen otros métodos para conducir revisiones sistemáticas que se discutirán a continuación, cada uno con su propia orientación teórica, fortalezas y debilidades.

MÉTODOS DE LAS REVISIONES SISTEMÁTICAS

Revisión Narrativa Tradicional

La revisión narrativa es la forma más tradicional de las revisiones. Es la que se lleva a cabo en la mayoría de los proyectos de investigación para generar el marco teórico, en los cuales se conduce una revisión de la literatura no sistemática, guiada más por los intereses del investigador que por la búsqueda de las tendencias en el campo de estudio. Wood (2000) califica a estas revisiones como pseudo-síntesis y establece que, aunque no carecen del todo de valor para la investigación particular, estas "son realmente un poco mejores que las bibliografías anotadas".

Las revisiones narrativas se conducen constantemente por los investigadores. En la mayoría de las publicaciones, se incluye una sección de revisión de la literatura para darle al lector algunos antecedentes de la investigación. Pero la calidad de estas revisiones tradicionales se pone en tela de juicio porque la mayoría de las veces estas revisiones están sesgadas por la orientación del

investigador, a parte que habitualmente no se describen explícitamente los métodos mediante los cuales se lleva a cabo (Davies y Crombie, 2001).

Meta-análisis Cuantitativo

Mientras que los resultados de las revisiones tradicionales pueden ser vistos como anecdóticos y menos satisfactorios en términos de rigor metodológico, los investigadores han desarrollado diferentes aproximaciones para lograr una revisión sistemática más objetiva.

Gene Glass introdujo el término "meta-análisis" en 1976 para referirse a una filosofía según la cual la revisión de la literatura debe ser "tan sistemática como la investigación original y debe interpretar los resultados de los estudios individuales en el contexto de las distribuciones de los hallazgos, parcialmente determinados por las características del estudio y por el azar" (Bangert-Drowns y Rudner, 1991).

Según Glass (1976) "el Meta-análisis se refiere al análisis de los análisis... el análisis estadístico de una gran colección de resultados de los análisis de estudios individuales con el propósito de integrar los hallazgos". Una variante del meta-análisis se desarrolló luego involucrando una colección de procedimientos estadísticos (incluyendo efectos del tamaño de la muestra, homogeneidad, y psicometría) para integrar los datos provenientes de diferentes estudios independientes que tienen la misma hipótesis (Bangert-Drowns y Rudner, 1991) y sintetizar los resultados de todos los estudios demostrando o no su validez (Moore, 1999).

Se considera que el meta-análisis tiene una ventaja sobre las revisiones tradicionales dado su enfoque sistemático y la rigurosidad de los criterios utilizados para incluir los estudios analizados (Moore, 1999; Slavin, 1986). Por consiguiente, muchas veces se refieren al meta-análisis como una revisión sistemática (Cook, Sackett y Spitzer, 1995; Khan, Daya y Jadad, 1996; Davies y Crombie, 2001) en oposición a la revisión narrativa tradicional la cual tiende a no describir los procedimientos explícitamente. El meta-análisis (o la revisión sistemática) enfatiza la importancia de aplicar "estrategias científicas para limitar los sesgos en la revisión, apreciación crítica y síntesis de todos los estudios relevantes a un tema específico" (Cook, Sackett y Spitzer, 1995).

Davies y Crombie (2001) discuten algunas características de las revisiones sistemáticas que incluyen:

1. Las revisiones sistemáticas resumen la evidencia procedente de diferentes investigaciones originales individuales.

2. Las revisiones sistemáticas se realizan con el mismo nivel de rigor como el utilizado en la producción de la evidencia que se revisa.

3. Las revisiones sistemáticas de alta calidad se esmeran en hallar todos los estudios individuales relevantes publicados en un tema particular, los evalúan con rigurosidad, sintetizan sus hallazgos de una forma que minimice los sesgos que pudieran introducir los autores individuales, y presentan un resumen balanceado e imparcial de los hallazgos comunes discutiendo con argumentos cualquier falta de evidencia.

En esta misma caracterización, se habla de algunos aspectos que vale la pena notar en el desarrollo de un meta-análisis, los cuales incluyen:

4. El meta-análisis es un esfuerzo para hacer la síntesis investigativa más sistemática.

5. Los sesgos son considerados como un problema que todo meta-análisis debe enfrentar.

Los métodos meta-analíticos están bien establecidos y se usan ampliamente, aunque no carecen de críticas. Eysenck (1984), por ejemplo, sugiere que la aclamada objetividad del meta-análisis no se soporta por completo en la mejor evidencia disponible. El mismo autor sostiene que el método desarrollado por Glass y colaboradores es un abuso de la integración investigativa. El meta-análisis, de acuerdo con Eysenck (1984), no es capaz de tener en cuenta los factores más complejos de todo buen raciocinio científico y argumenta que “ninguna técnica computarizada pseudo-objetiva puede substituir el razonamiento científico ni la agudeza teórica del investigador”.

Davis y Crombie (2001) señalan el defecto “GIGO” (por sus siglas en inglés, “garbage in, garbage out”), principio del meta-análisis que se refiere a que la calidad de los estudios primarios afectará los resultados y la calidad del meta-análisis que se realice con base en ellos.

Otro inconveniente con el meta-análisis clásico es la incapacidad intrínseca del mismo para incluir en sus métodos el análisis de los estudios primarios cualitativos (Hossler y Scalese-Love, 1989). La investigación documental tiene una gran demanda como metodología de la investigación en las ciencias cognitivas, particularmente en la neurociencia, y muchos investigadores consideran que es necesario incluir este tipo de estudio cuando se llevan a cabo investigaciones en campos muy específicos; por lo que un buen meta-análisis al interior de un estudio enmarcado en las ciencias cognitivas como este trabajo, no estaría completo si no puede incluir y sintetizar la gran cantidad de resultados generados a partir de estudios en el campo de la metacognición en el aprendizaje, tanto en la psicología cognitiva tradicional como en la neurociencia cognitiva reciente.

METANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE NEUROIMÁGENES

Cada año se publican miles de estudios sobre imagen cerebral. Un subconjunto de estos estudios son o duplicados o ligeras variaciones de estudios anteriores. El intentar llegar a una sólida conclusión basada en los complejos patrones de actividad cerebral relatado por todos estos duplicados puede ser desalentador. El Meta-análisis es una herramienta que ha sido utilizada para dar sentido a todos estos datos. Los Meta-análisis toman los lugares de actividad cerebral publicados en diferentes artículos científicos, y los reúnen para ver si hay alguna consistencia.

Normalmente los estudios de imagenología cerebral se hacen usando un cerebro estandarizado donde se encajan los datos de todos los estudios. Las coordenadas de activación se colocan sobre un cerebro modelo como si fueran puntos. Cuando los puntos tienden a agruparse juntos, se puede ver que hay alguna consistencia presente en los estudios. Uno de los métodos más avanzados para llevar a cabo estos análisis de neuroimágenes es la llamada estimación de probabilidad de activación (ALE, por sus siglas en inglés de Activation Likelihood Estimation). Este método fue desarrollado por Peter Torkelson (2002) y ampliado por Laird (2005). ALE calcula la probabilidad de activación de cada parte del cerebro a través de los diferentes estudios. Este es un método mucho más poderoso que la simple determinación de puntos, porque toma la mayor parte de las coordenadas decidiendo con una probabilidad de error menor del 0,05 %. Esto significa que cuando el programa ubica un punto en un sitio específico del modelo del cerebro existe una probabilidad menor de 5 en 100 de que este punto se encuentre uno o dos milímetros distante de su posición real. Esta gran precisión al ubicar las coordenadas de puntos es de gran valor teniendo en cuenta la gran organización citoarquitectónica del cerebro.

Al utilizar un meta-análisis se reduce el problema de la localización cerebral diferencial que en muchas ocasiones se observa en estudios originales individuales sobre los cuales algunos autores basan sus conclusiones, pues esta metodología calcula la probabilidad de que un hallazgo esté equivocado entre los diferentes estudios. La gran precisión de estos análisis se basan en la iteración de los resultados (el programa aplica la misma función de cálculo tantas veces como el usuario determine y utiliza como entrada para el próximo cálculo la función de salida inmediatamente anterior, lo que genera resultados más precisos y con mayor significancia estadística), el test de permutación de coordenadas, la comparación múltiple, el índice de descubrimientos falsos, y la aplicación de umbrales de activación/desactivación basados en la fisiología del funcionamiento cerebral.

La información técnica de los artículos incluidos en este meta-análisis se analizó utilizando los software BrainMap Sleuth 2.0 y BrainMap GingerALE 2.1, de acceso gratuito. Estos software son

fáciles de usar, poseen interfases amigables y pueden ayudar a la comprensión de la función cerebral en un sinnúmero de paradigmas de aprendizaje.

METODOLOGIA Y MÉTODO DE LA TEORIA FUNDAMENTADA UTILIZADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TEORÍA

En adelante, se utilizará la definición de Bogdan y Biklen (1998) para método y para metodología:

“Metodología” es un termino mas genérico que se refiere a la lógica general y la perspectiva teórica de un proyecto de investigación; mientras que “Método” es un termino que se refiere a las técnicas específicas en uso, como las entrevistas, los tests, la observación – en general, los aspectos mas técnicos de la investigación.

Glaser y Strauss (1967) sugirieron el uso de la teoría existente como una fuente de ideas para el descubrimiento de la teoría pero fueron precavidos advirtiendo que cubrir mucha literatura podría ocultar la generación de teoría. Glaser (1998) estableció más tarde que “no hacer una revisión de la literatura en el área de trabajo y en las áreas relacionadas donde la investigación se realiza es un error”.

Se dice que “no hay nada mas practico que una buena teoría” (Lewin, 1946). A decir de Boyd (1993) “una buena teoría es predictiva, heurística, económica, entendible, y grandemente coherente con el conocimiento científico existente”.

Lynham (2000) en una exhaustiva revisión de la literatura relacionada, halló que no existen definiciones exactas para el término construcción de teoría; por el contrario, este mismo concepto puede tomar diferentes significados, dependiendo de la propia definición de teoría. Lynham (2000), por consiguiente, definió la construcción de teoría como “el proceso o ciclo recurrente mediante el cual las descripciones coherentes, explicaciones, y representaciones de los fenómenos observados o experimentados son generados, verificados, y refinados”. Esta descripción refleja la esencia de la construcción de teoría fundamentada.

La teoría fundamentada, presentada por Glaser y Strauss (1967), es una herramienta para la creación de teorías fundamentadas para generar, verificar, y refinar teoría a partir de los fenómenos investigados a través de una serie de técnicas iterativas. La teoría fundamentada se ha convertido en uno de los métodos de investigación cualitativo más prominente desde su introducción en 1967, y se ha empleado ampliamente para la conducción de investigaciones en varias áreas.

Una teoría fundamentada es usualmente una descripción de una serie de categorías conceptuales (o proposiciones) y las relaciones entre ellas. La generación de teoría fundamentada está estrictamente basada en los datos. En otras palabras, este tipo de teoría esta “fundamentada” en los datos de la cual se derivó.

La teoría fundamentada es un método de investigación. La teoría fundamentada fue propuesta por Glaser y Strauss (1967) como un “método general de análisis comparativo” para el descubrimiento de teoría desde los datos. Además de ser un método de investigación, la teoría fundamentada es también una metodología, como lo establecen sus fundadores “la teoría fundamentada es una metodología de investigación y una serie de métodos de investigación” (Strauss y Corbin, 1998).

La teoría fundamentada pertenece a la escuela de metodologías de la investigación cualitativa. Strauss y Corbin (1990) establecieron que: "la teoría fundamentada es un método de investigación cualitativa que utiliza una serie sistemática de procedimientos para desarrollar una teoría derivada inductivamente acerca de un fenómeno". De manera general, una teoría fundamentada es el producto (la teoría generada o descubierta) de la metodología y el método seguidos para generarla.

La teoría fundamentada es una aproximación metodológica para hacer investigación con base en los datos obtenidos. Fue descrita inicialmente en un pequeño texto publicado en 1967 por Glaser y Strauss, y es desde entonces una de las metodologías mas utilizadas para llevar a cabo investigación cualitativa en el campo de la pedagogía (Denzin y Lincoln, 1994). Como una de las metodologías para hacer investigación cualitativa, la teoría fundamentada comparte algunos atributos con los métodos cualitativos generales. De acuerdo con Bogdan y Biklen (1998) y Merriam (1998), estos atributos incluyen:

1. Una visión filosófica: La realidad está construida por individuos que interactúan con sus mundos sociales
2. Aproximación naturalística: el uso de datos reales (obtenidos a partir del trabajo de campo o de bases de datos bibliográficos) como fuente directa de los datos y la importancia dada al contexto
3. Datos descriptivos: los datos tienden a ser recolectados en textos y no se reducen a formatos numéricos para su análisis
4. Preocupación por el proceso: los investigadores se preocupan por el proceso de investigación, más que por los resultados o productos.
5. Inductivos: los datos en la investigación tienden a ser analizados inductivamente. En lugar de buscar aprobar o desaprobar hipótesis previas, las abstracciones se construyen mediante la agrupación de la información obtenida.

6. Significado: los investigadores están preocupados frecuentemente por las perspectivas quienes fungen como datos primarios y como ellos interpretan sus propias palabras.
7. El investigador como instrumento de investigación: los investigadores son usualmente el instrumento principal de investigación para la recolección y análisis de los datos.

La diferencia entre la teoría fundamentada y otras aproximaciones metodológicas en la investigación radica en la creación de teoría. Como Merriam (1998) señaló: “Así como es cierto para otras formas de investigación, el investigador es el instrumento primario de recolección de datos, y el análisis asume una postura inductiva y se esfuerza por derivar significado de los datos. El resultado final de este tipo de investigación es que la teoría emerge a partir de los datos, o lo que es lo mismo, esta fundamentada en ellos”.

Las características del Método de la teoría Fundamentada

La teoría fundamentada, como metodología, tiene algunas características distintivas (Strauss y Corbin, 1998):

1. Es una metodología de investigación y una serie de métodos de investigación.
2. Se dirige a crear teoría como resultado del estudio, más que a verificarla.
3. Emerge a partir de los datos.
4. Es una teoría de “rango medio” que se ubica entre el conocimiento cotidiano y la teoría científicamente aceptada.
6. Es conceptual: la teoría es un constructo de conceptualizaciones a partir de los datos más que una descripción de los datos.

Mecanismos de la teoría Fundamentada

Glaser y Strauss (1967) ilustraron la teoría fundamentada con un énfasis en dos procedimientos: el muestreo teórico y el método comparativo constante. El muestreo teórico describe el proceso articulado de la recolección de los datos, su codificación, y análisis. Glaser y Strauss (1967) definieron el muestreo teórico como “el proceso de recolección de datos para la generación de teoría, mediante el cual el analista articuladamente recolecta, codifica, y analiza los datos y decide que dato recolectar después y donde hallarlo, para continuar desarrollando la teoría así como va emergiendo”.

Dos importantes mecanismos están involucrados con el muestreo teórico: la selección de grupos y la saturación teórica. El primero se refiere a que los grupos de un área substantiva son seleccionados por comparación para generar categorías y propiedades. Esta selección es guiada por la necesidad de

desarrollos teóricos, esto es, de acuerdo con la relevancia teórica de los grupos. La saturación teórica denota la etapa donde el teórico fundamentado puede deducir que no es necesaria la recolección de datos adicionales para desarrollar la categoría, y es aquí cuando se detiene el muestreo teórico en una categoría.

Es de notar que el muestreo teórico trata con las categorías emergentes, más que con la verificación de la teoría externa. Como Glaser (1978) estableció, "el muestreo teórico es... utilizado como una forma de chequear la red conceptual emergente mas que para la verificación de hipótesis preconcebidas".

De otra parte, en el desarrollo de una teoría fundamentada, el método comparativo constante es el procedimiento que el investigador utiliza para comparar incidentes y categorías, integrando categorías y sus propiedades, delimitando la teoría, y escribiendo la teoría. El análisis comparativo constante es el proceso mediante el cual los incidentes son comparados para generar y se sugieren categorías, propiedades, e hipótesis (Glaser y Strauss, 1967).

El método comparativo constante y el muestreo teórico acoplado, constituyen el centro de los mecanismos técnicos de la teoría fundamentada. Como Kerlins (1998) estableció, "El muestreo teórico y la comparación constante reflejan procesos cíclicos que son a la vez fluidos y flexibles, y al mismo tiempo, aseguran que el análisis se realiza de acuerdo a un plan, no de manera descuidada, y bien fundamentada en los datos".

Los elementos de la Teoría Fundamentada

Los tres elementos básicos de la Teoría Fundamentada son los conceptos, las categorías y las proposiciones.

Los conceptos son las unidades básicas de análisis, dado que la teoría se desarrolla a partir de la conceptualización de datos, no de los datos reales en sí mismos. Según Corbin y Strauss (1990):

"Las teorías no pueden construirse con los incidentes o actividades reales, tal como son observados o informados, es decir, a partir de los datos "crudos". Los incidentes, eventos, hechos, son tomados o analizados como potenciales indicadores de los fenómenos, a los cuales se les da por lo tanto etiquetas o rótulos conceptuales. Si un encuestado dice al investigador: «Cada día yo distribuyo mis actividades a lo largo de la mañana, descansando entre que me afeito y me baño' luego el investigador podría etiquetar este episodio como "moviéndose sin apuro". Cuando el investigador encuentra otros incidentes y después los compara con el primero, si ellos se parecen a este mismo fenómeno, por lo tanto éstos también pueden ser etiquetados como "moviéndose sin apuro". Sólo comparando incidentes

y nombrando similares fenómenos con el mismo término, puede el teórico acumular las unidades básicas para la teoría".

El segundo elemento de la Teoría Fundamentada es definido por los mismos autores de la siguiente manera:

"Las categorías son superiores en nivel y más abstractas que los conceptos que representan. Son generadas a través del mismo proceso analítico - hacer comparaciones para resaltar las semejanzas y diferencias - usado para producir conceptos de menor nivel. Las categorías son las piedras fundantes del desarrollo de la teoría. Ellas proveen los medios a través de los cuales puede integrarse la teoría. Podemos mostrar cómo el agrupamiento de conceptos forma categorías. Siguiendo el ejemplo, además del concepto de "moviéndose sin apuro" el analista podría generar los conceptos de "automedicándose", "descansando", "cuidando la dieta". Mientras codifica, el analista puede notar que, a pesar de que estos conceptos son diferentes en cuanto a su forma, parecen representar actividades dirigidas hacia un proceso similar: mantener una enfermedad bajo control. Ellas podrían ser agrupadas bajo un encabezamiento más abstracto, la categoría: "Autoestrategias para controlar la enfermedad".

El tercer elemento de la Teoría Fundamentada son las proposiciones que indican relaciones generalizadas entre una categoría y sus conceptos y entre categorías separadas. Este tercer elemento fue originalmente denominado "hipótesis" por Glaser y Strauss (1967). Se piensa que el término "proposiciones" es más apropiado como lo puntualiza Whetten (1989), ya que las proposiciones comprenden relaciones conceptuales, mientras que las hipótesis requieren relaciones mensurables. Dado que la Teoría Fundamentada produce relaciones conceptuales pero no mensurables, el término proposiciones es preferible.

La generación y desarrollo de conceptos, categorías y proposiciones es un proceso interactivo. La Teoría Fundamentada no es generada a priori y luego verificada. Más bien: "inductivamente se deriva del fenómeno que representa. Esto es: se descubre, desarrolla y provisionalmente se verifica durante la recolección sistemática de datos y el análisis de los datos que pertenecen al fenómeno estudiado. Por lo tanto, la recolección de datos, análisis y teoría deberían sostenerse en recíprocas relaciones. Uno no comienza con una teoría y luego la prueba. Más bien, uno comienza con un área de estudio y se permite que emerja lo que es relevante para esa área" (Strauss y Corbin, 1990).

En resumen, la teoría fundamentada constituye un método de investigación utilizado para la generación de teoría a partir de los datos; y el método de la teoría fundamentada contiene varios procedimientos y técnicas para conducir un proyecto de investigación fundamentado en datos.

GENERACIÓN DE TEORÍA FUNDAMENTADA EN DATOS BIBLIOGRÁFICOS

La teoría fundamentada puede aplicar su metodología y sus métodos para generar teoría sobre cualquier tipo de datos recolectados por un investigador, incluyendo datos bibliográficos (Glaser, 1998; Pandit, 1996). Al respecto, Strauss y Corbin (1990) sostienen este abordaje: "La literatura puede ser usada como fuente primaria de datos".

Los procedimientos o pasos generales que debería seguir toda investigación que utiliza la metodología de la teoría fundamentada son (Glaser, 1998):

1) Definir los problemas de investigación

El primer paso en el desarrollo de cualquier proyecto de investigación, incluyendo los que utilizan los elementos de la teoría fundamentada, es definir las preguntas básicas de investigación. Éstas deberían ser planteadas buscando delimitar adecuadamente el tema, de modo que la investigación pueda focalizarse; y ser además lo suficientemente amplias en su formulación como para permitirle al investigador flexibilidad en la búsqueda de respuestas.

Una buena fuente de preguntas de investigación en los estudios de teoría fundamentada es la "literatura técnica" (es decir informes de estudios de investigación y escritos teóricos característicos de la disciplina en el área problemática general) (Strauss y Corbin, 1990).

Al final de los capítulos tres y cuatro se plantean una serie de interrogantes a partir de los cuales se define explícitamente el problema teórico que se encuentra para establecer actualmente, y con base en los datos tanto de la psicología como de la neurociencia cognitiva, un correlato neural suficientemente claro y apropiado para la metacognición en el marco de un proceso de aprendizaje semejante al que puede darse en el aula, y el vacío conceptual que esto causa.

2) Selección de casos

Una vez generadas las preguntas básicas y focalizada la investigación, el próximo aspecto del diseño de investigación y el segundo paso es seleccionar los casos. Los casos son las principales unidades de datos de la investigación; deberían ser seleccionados de acuerdo con el principio de muestreo guiado teóricamente. En esta investigación, dado que se siguen los principios del meta-análisis con el fin de obtener la mejor evidencia disponible, se atenderá a estos principios para seleccionar los datos bibliográficos.

Durante la colección inicial de datos, cuando las principales categorías están emergiendo, es necesaria una completa y profunda cobertura de los datos. Subsecuentemente, el muestreo requiere solamente recolectar datos en categorías, para el desarrollo de las propiedades y proposiciones. El criterio para juzgar cuándo parar el muestreo, es la "saturación de la categoría o saturación teórica". Glaser y Strauss (1967, p 65) con ello se refieren a la situación en la cual: "No se están encontrando datos adicionales por los cuales el investigador puede desarrollar propiedades de la categoría. Cuando él encuentra instancias similares una y otra vez, el investigador adquiere empíricamente la confianza de que una categoría está saturada, no quedando nada más que continuar con nuevos grupos para buscar datos en otras categorías, e intentar saturar también estas categorías".

Salta a la vista una calificación, por el hecho de que no todas las categorías son igualmente relevantes, y de acuerdo con ello, la profundidad de la búsqueda en cada una no debería ser la misma. Como regla general, las categorías nucleares, aquellas que tienen el poder explicativo mayor, deberían ser saturadas tanto como sea posible. Una teoría está saturada cuando es estable al enfrentar nuevos datos y es rica en detalles.

Los datos que se utilizaron en este trabajo de investigación se obtuvieron a partir de estudios de neuroimágenes cuyo diseño incluyó la realización de tareas complejas de aprendizaje. Para satisfacer el criterio de saturación mencionado anteriormente, el autor siguió el principio enunciado por Martin y Turner (1986) "Cuando tres de cuatro conjuntos de datos hayan sido analizados, la mayoría de los conceptos útiles se descubrirán", el cual se interpretó en este estudio en el sentido de que si en más de tres artículos revisados los autores coincidieron en las áreas cerebrales activadas durante una misma prueba de aprendizaje complejo, entonces la activación de esa área tenía que ver con el aprendizaje.

El análisis de los datos (obtenidos de la literatura) desde la teoría fundamentada condujo a la generación de la teoría fundamentada sobre la metacognición que aquí se presenta. Lograda la saturación teórica vía replicación literal se construyó un modelo de funcionamiento cerebral que incluye a la metacognición como un sistema separado de la cognición durante el aprendizaje.

3) Desarrollo de un protocolo de recolección

Eisenhardt (1989, p. 538) afirma: "... una investigación puede comprometer datos sólo cualitativos, sólo cuantitativos, o ambos... Más aún, la combinación de tipos de datos puede ser altamente sinérgica."

Se asume que la sinergia (o "triangulación de datos") funciona como sigue: los datos cuantitativos pueden indicar directamente relaciones observables y corroborar los hallazgos de los datos

cualitativos. Los datos cualitativos pueden ayudar a comprender la lógica de la teoría y las relaciones subyacentes.

El uso de fuentes de múltiples datos, por lo tanto, aumenta la validez y confiabilidad del constructo. Esta última es aún mayor a través de la preparación de una base de datos de los casos de estudio, que es una reunión formal de evidencias claras obtenidas. Yin (1989) afirma: "Cada proyecto debería conducir a desarrollar una base de datos formal, recuperable, de manera que en principio, otros investigadores puedan revisar la evidencia directamente, y no limitarse a los informes escritos. De esta manera, la base de datos incrementará marcadamente la confiabilidad de la investigación".

Los datos recolectados con base en la metodología del meta-análisis dieron lugar a la generación de una base de datos de estudios de neuroimágenes recientes que evalúa específicamente el aprendizaje en paradigmas de tareas complejas.

4) Abordaje del campo

La principal fuente de datos en este estudio fueron artículos de neuroimagen en sujetos sanos que incluyeran dentro de sus paradigmas el aprendizaje de tareas complejas.

Hay más de 2000 artículos en el campo de la imagenología cerebral que cumplen con estos criterios. Por lo que se debió restringir la búsqueda de datos a aquellos publicados entre 1998 y 2008. Criterios de inclusión adicionales se describen en el capítulo cinco de este trabajo.

La base de datos de casos fue construida dentro del paquete de software para meta-análisis de datos de estudios de neuroimágenes BrainMap Sleuth.

Se intentó asegurar que los datos fueran recolectados y analizados simultáneamente para mantener la flexibilidad. Esta imbricación permite realizar ajustes al proceso de recolección de datos, a la luz de los hallazgos emergentes. Eisenhardt (1989) describe esta flexibilidad como "oportunisto controlado".

5) Ordenar los datos

Los datos fueron ordenados de acuerdo con los siguientes criterios:

- aquellos que reportaron activación de áreas particulares durante el aprendizaje
- aquellos que reportaron desactivación de áreas particulares durante el aprendizaje

- aquellos que utilizaron únicamente paradigmas de aprendizaje en tareas complejas
- aquellos que utilizaron paradigmas de aprendizaje con un componente emocional

6) Análisis de los datos:

Esta fase es central para la construcción de la investigación en la teoría fundamentada (Glaser 1998). El análisis de datos para cada caso incluyó la generación de conceptos a través del proceso de codificación, que “representa las operaciones por los cuales los datos son desagregados, conceptualizados y puestos nuevamente juntos en nuevas formas” (Strauss y Corbin, 1990).

Hay tres tipos de codificación: abierta, axial y selectiva. Son tipos analíticos, de una secuencia no estricta. Por lo tanto, no necesariamente se debe pensar que el investigador se mueve en una forma estrictamente consecutiva desde la forma abierta, a través de la axial, hasta la selectiva.

La codificación abierta se refiere a aquella parte del análisis que tiene que ver con los rótulos (o etiquetas) y categorizaciones de los fenómenos como está indicado por los datos. El producto de rotular y de categorizar son los conceptos - los ladrillos básicos de la construcción en la teoría fundamentada.

La codificación abierta requiere aplicación de lo que es conocido como "método comparativo", esto es, la formulación de preguntas y la realización de comparaciones. Los datos son inicialmente desagregados por medio de preguntas simples tales como qué, dónde, cómo, cuándo, cuánto, etc. Subsecuentemente, los datos son comparados y similares incidentes son reunidos y agrupados, dándoles el mismo nivel conceptual. El proceso de agrupar conceptos a un nivel más alto, más abstracto, es llamado categorización.

Mientras que la codificación abierta fractura los datos en conceptos y categorías, la codificación axial pone esos datos otra vez juntos de otras maneras diferentes, al establecer conexiones entre una categoría y sus subcategorías. Quiere decir que la codificación axial se refiere al proceso de desarrollar las categorías principales y sus subcategorías.

La codificación selectiva comprende la integración de las categorías que han sido desarrolladas para formar el marco teórico inicial.

En primer lugar, se genera o se hace explícita una tendencia general en todas las categorías. Cuando son analizadas, las categorías dan lugar a la categoría nuclear. La categoría nuclear debe ser el sol,

estando en relaciones sistemáticamente ordenadas con sus planetas (Strauss y Corbin, 1990).

Las categorías subsidiarias están relacionadas a la categoría nuclear de acuerdo con el modelo del paradigma, cuyo propósito básico es habilitar al investigador a pensar sistemáticamente acerca de sus datos y correlacionarlos de manera compleja. La idea básica es proponer asociaciones y mirar a los datos para validación (moverse entre formular preguntas, generar proposiciones y hacer comparaciones).

7) Verificación y desarrollo de la teoría

Una vez que se han generado las categorías nuclear o central y las subsidiarias, se puede iniciar la construcción teórica, verificando con los datos su validez y desarrollando el marco teórico de la nueva teoría (Glaser, 1998).

La propuesta teórica desarrollada en este trabajo de investigación se muestra como una serie de proposiciones sobre el funcionamiento cerebral durante el aprendizaje de tareas complejas analizadas mediante imagenología cerebral y se propone un modelo del mismo.

USO DE LA METODOLOGÍA DEL META-ANÁLISIS Y DEL MÉTODO DE LA TEORÍA FUNDAMENTADA EN ESTA INVESTIGACIÓN

La metodología del meta-análisis y las revisiones sistemáticas se usaron en esta investigación para revisar sistemáticamente los trabajos individuales que buscaron como objetivo primario el sustrato neural de la metacognición utilizando métodos propios de la psicología cognitiva, y los principales hallazgos se reúnen en el capítulo tres de esta investigación.

Considerando el gran avance en las técnicas desarrolladas en la neurociencia cognitiva, se realizó una revisión sistemática de los trabajos individuales que buscaron como objetivo primario establecer el funcionamiento cerebral durante el aprendizaje de tareas complejas y el control emocional, y los principales hallazgos se reúnen en el capítulo cuatro de esta investigación.

El meta-análisis de estudios de neuroimagen se realizó apoyado en un software especializado que permitió reunir los estudios mejor realizados que buscaron como objetivo principal evaluar el funcionamiento cerebral durante tareas complejas de aprendizaje. El resultado de este meta-análisis se encuentra en el capítulo cinco de esta investigación.

Con el fin de disponer de los mejores datos bibliográficos para generar teoría, se emplearon como fuente primaria de datos los artículos obtenidos mediante el meta-análisis de los estudios neuroimagenológicos de que trata el capítulo cinco. El método de la teoría fundamentada se utilizó en esta investigación para generar códigos, categorías y supercategorías o conceptos centrales (capítulo cinco) los cuales fueron utilizados para generar nuevas relaciones teóricas entre la metacognición y el aprendizaje y para el planteamiento de un modelo de funcionamiento cerebral durante el aprendizaje que se expone en el capítulo seis de esta investigación.

Los métodos combinados del meta-análisis documental y de la teoría fundamentada aplicados a datos bibliográficos se utilizó en esta investigación para disponer de la mejor evidencia con el fin de dilucidar los sustratos neurales de la metacognición durante el aprendizaje y el control de las emociones durante el mismo.

CAPÍTULO III

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA EVIDENCIA CLÁSICA DESDE LA PSICOLOGÍA COGNITIVA SOBRE LOS SUSTRATOS NEURALES DE LA METACOGNICIÓN Y LAS FUNCIONES EJECUTIVAS, Y SU RELACIÓN CON EL APRENDIZAJE EN TAREAS SIMPLES.

En este capítulo se realizará una revisión sistemática de los estudios que tratan de encontrar los sustratos neurales de la regulación metacognitiva, en el entendido de que este componente de la metacognición, según los planteamientos de Flavell (1979), es el que le permite a las personas resolver problemas de manera competente. Estos estudios se han realizado en el marco de la ejecución de diversas tareas de laboratorio diseñadas al interior de la tradición de la psicología cognitiva para evaluar a sujetos sanos y a pacientes con lesiones cerebrales. A sí mismo, se realizará una revisión sistemática de los estudios al interior de esta misma tradición que han investigado las áreas del cerebro que hasta el momento se asocian con las funciones ejecutivas. Como se verá, existe gran similitud entre los hallazgos de unos y de otros estudios.

Al final del capítulo se plantean una serie de interrogantes que tienen como base los supuestos teóricos de la psicología cognitiva y las limitaciones que existen para generalizar sus resultados a los aspectos neurobiológicos del desempeño durante el aprendizaje en contextos de aula y por fuera del control del laboratorio.

EL CONOCIMIENTO METACOGNITIVO Y LA REGULACIÓN METACOGNITIVA

Los niños o adultos metacognitivamente sofisticados son como los ejecutivos ocupados, analizando nuevos problemas, juzgando qué tan lejos están de la meta, asignando la atención, seleccionando una estrategia, intentando una solución, monitorizando el éxito o el fracaso del desempeño actual, y decidiendo si se debe cambiar a una estrategia diferente (Flavell, 1979).

Aprender un contenido y percibir cómo sucedió la comprensión o darse cuenta de que no se entendió son ejemplos del fenómeno de la metacognición. El término literalmente significa pensar sobre el pensamiento. John Flavell (1979) y Ann Brown (1985, 1987) definieron inicialmente la metacognición como el conocimiento acerca de la cognición y la regulación de la cognición, y esta división se ha respetado por la mayoría de los investigadores que han realizado conceptualizaciones posteriores (Wellman, 1985; Moses y Baird 1999; Tarricone, 2011; Fleming y Dean, 2012). El conocimiento metacognitivo es el conocimiento que la gente tiene acerca de sus capacidades cognitivas ("Tengo mala memoria"), acerca de las estrategias cognitivas ("para recordar un número de teléfono debo repetirlo"), acerca de las tareas ("los elementos que se ordenan son más fáciles de recordar"), y así sucesivamente (Flavell, 1979). La regulación metacognitiva se refiere a los procesos que coordinan la cognición. Estos incluyen los procesos de abajo hacia arriba llamados de monitoreo cognitivo (por ejemplo, la detección de errores, el control del origen en la recuperación de la memoria) y los procesos de arriba hacia abajo llamados de control cognitivo (por ejemplo, la resolución de conflictos, la corrección de errores, el control inhibitorio, la planificación, la asignación de recursos) (Nelson y Narens, 1990; Reder y Schunn, 1996).

Dos constructos estrechamente relacionados están asociados con el aspecto de control de la metacognición: la auto-regulación y el funcionamiento ejecutivo. El término autorregulación se utiliza a menudo por los educadores para referirse al uso de las competencias incluidas en el componente regulador de la metacognición, como la planificación, el monitoreo y la evaluación.

Los psicólogos del desarrollo tienen una definición más amplia de la autorregulación que abarca el control de impulsos. Las funciones ejecutivas (FE) es un término con origen en la psicología cognitiva y la neurociencia. Incluye procesos típicamente considerados como de naturaleza metacognitiva, tales como la planificación, el monitoreo y la corrección y detección de errores (Fernández-Duque, 2000).

LA DIFERENCIACION ENTRE UN NIVEL COGNITIVO Y UN NIVEL METACOGNITIVO EN LA REGULACIÓN DE LA METACOGNICIÓN

A pesar de los avances en la definición y las medidas de la metacognición, los fundamentos neurales de la metacognición siguen siendo mal entendidos (Schwartz y Bacon, 2008; Fleming y Dean, 2012). Los pocos estudios que han intentado encontrar un asiento neurológico a la metacognición utilizando enfoques y modelos derivados de los planteamientos originales de Flavell han empleado dos

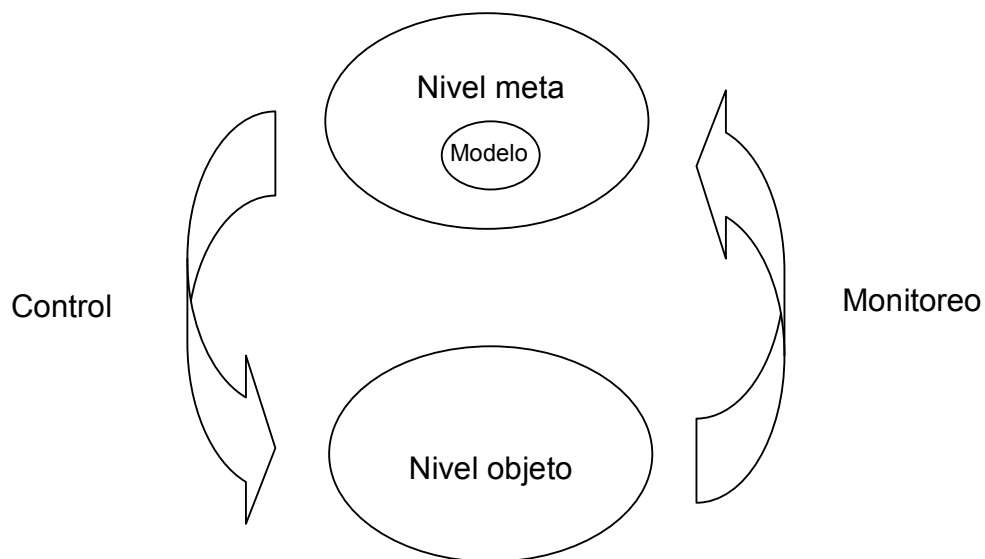
orientaciones de investigación sobre la metacognición que se han separado (Martí, 1995). Una es el estudio de los conocimientos y las actividades metacognitivas que manifiesta un sujeto en situación de resolución de problemas (metacognición aplicada a los procesos cognitivos) y la otra representada por el estudio de los conocimientos que las personas tienen de la cognición en general; esta última tendencia ha recibido el nombre de "teoría de la mente" y, de acuerdo con Martí (1995), puede decirse que es una línea de investigación bien definida con autonomía teórica y metodológica. Los autores inscriptos en ella, buscan indagar cuáles son los conocimientos que los niños pequeños tienen sobre la mente humana y sobre su funcionamiento. Dichos conocimientos son -en general- verbalizables y muchas veces obedecen al planteamiento de creencias y representaciones sobre sí mismo y los otros. Poseen mucha importancia ya que permiten explicar cómo los niños se comportan respecto de sus semejantes como entes cognitivos y hacen posible dar cuenta de la situación mental de pequeños con patologías, como el autismo. Como el interés explícito de esta tesis se centra en la regulación metacognitiva dada su importancia para el desempeño escolar, no se abordará más el tema desde la perspectiva de la teoría de la mente.

La otra propuesta deriva de las investigaciones de la psicología cognitiva en metamemoria (Hart, 1965). Este enfoque es el que ha dado origen a un gran número de investigaciones sobre metacognición cuyos resultados se han aplicado en el contexto educativo (Martí, 1995). En esta no se considera el tema de las representaciones mentales en los niños pequeños y se enfoca al estudio de los conocimientos y de la autorregulación involucrados en el mismo quehacer cognitivo. La idea fundamental en este enfoque es que la habilidad metacognitiva debe ser entendida como conocimiento y capacidad de regulación de cualquier actividad cognitiva (Flavell, 1979). Los investigadores dentro de esta tradición utilizan un modelo muy extendido de la metacognición propuesta por Nelson y Narens (1990, 1994).

En esta propuesta se supone que en su ejercicio de las acciones cognitivas los sujetos desarrollan un modelo ideal de cómo deben operar estos procesos; debido a esto, representan el funcionamiento de dicho sistema de control en dos niveles cognitivos distintos. Uno de ellos es el nivel objeto, es decir, el nivel de la actuación concreta del individuo. El otro es el metanivel en el cual se encuentra el modelo cognitivo del nivel objeto, organizado de acuerdo a ciertos principios metacognitivos, que es el encargado de controlar lo que esta actuación debería ser. Entre ambos niveles hay un flujo de información en el cual el metanivel ejerce un papel de dominancia o control respecto del nivel objeto. El nivel objeto, por su parte, envía información al nivel meta sobre su situación actual a través del monitoreo.

Por medio del control, el metanivel modifica el nivel objeto, pero no viceversa. La información que fluye desde el metanivel al nivel objeto, cambia el estado del proceso a nivel objeto o cambia el proceso de nivel objeto en sí mismo. Las nuevas acciones, promovidas a nivel objeto, consisten en iniciar una acción, continuarla o terminarla. El monitoreo, por otra parte, implica que el meta-nivel es informado por el nivel objeto, pero dicha información no puede cambiar el estado del metanivel en sí (Nelson y Narens, 1994). Así, la regulación metacognitiva es un sistema de metanivel que modula los procesos cognitivos en el nivel inferior. Esto añade flexibilidad a los procesos cognitivos, haciéndolos menos dependientes de señales externas (Figura 3.1).

Figura 3.1. En el modelo de la metacognición de Nelson y Narens (1994) el nivel objeto informa al nivel meta a través del monitoreo; el metanivel contiene un modelo del nivel objeto que se actualiza por medio de la información del monitoreo y sirve para que el metanivel controle el nivel objeto (Tomado de Fernández-Duque et al, 2000).



Dado que en el marco de Nelson y Narens (1994) el monitoreo es inútil sin la capacidad de usarlo para dirigir los procesos cognitivos en curso, conocido como control, algunos investigadores en el campo de la educación han visto la similitud que tiene con lo que perciben del desempeño de sus estudiantes. El control implica las decisiones y comportamientos que elegimos para aumentar (o sabotear) nuestra

oportunidad de recuperar una memoria particular más adelante. Es decir, si un individuo sabe que ya sabe algo, ese algo ya no requiere mayor estudio, pero si no lo sabe, tiene que estudiarlo más. Si está seguro de que puede recordar algo más tarde que no puede recordar ahora, él puede seguir buscando en su memoria ese elemento. Por lo tanto, las conductas de control incluyen la asignación de tiempo de estudio, la selección de la estrategia de búsqueda, y la terminación de la búsqueda (Schwartz, 2008).

El marco conceptual de Nelson y Narens (1990) es, en esencia, uno funcional, es decir, se centra en la pregunta, ¿Qué propósito sirve la metacognición al individuo? Los conceptos de monitoreo y control son esenciales para este marco. Los procesos de monitoreo implican la evaluación de los progresos o el éxito de un proceso de memoria en particular. Este provee al individuo con una retroalimentación sobre el éxito o el fracaso de un proceso nemónico (o cognitivo). Su medida se realiza pidiendo a los participantes reportar juicios. Los juicios sobre la facilidad del aprendizaje (del inglés EOL = ease of learning), el haber aprendido (del inglés JOL = judgement of learning), la sensación de saber (del inglés FOK = feeling of knowing), los estados punta de la lengua (del inglés TOT= tip-of-the-tongue), y los juicios retrospectivos de confianza (del inglés RCJ = retrospective confidence judgement) representan todos juicios que revelan aspectos del proceso de monitoreo. Cada uno de estos juicios daría cuenta de una fase diferente del proceso de memoria y aprendizaje. Para la adquisición de información, se proporciona un juicio EOL para antes del estudio y JOLs durante el estudio. Para el recuerdo, se tienen los FOKs y los estados TOT durante la recuperación y los RCJs evalúan la precisión de la recuperación después de que se ha producido (Schwartz, 2008).

CORRELATOS NEURALES DE LA REGULACION METACOGNITIVA EN EL MODELO DE NELSON Y NARENS (1994): EVIDENCIAS NEUROPSICOLÓGICAS Y DE LABORATORIO

Estudio de pacientes con lesiones cerebrales

La evidencia inicial sobre la base neural de la metacognición fue obtenida de estudios de casos neuropsicológicos (Shimamura, 2000). Hirst y sus colegas (1982) sugirieron que la metamemoria podría verse afectada en pacientes con síndrome de Korsakoff, un trastorno neurológico caracterizado por amnesia anterógrada severa que se produce como resultado del abuso crónico del alcohol y una deficiencia nutricional. Los cambios estructurales del cerebro en el síndrome de Korsakoff incluyen

un aumento en el líquido cefalorraquídeo y pérdida de volumen severa en las cortezas orbitofrontal y el tálamo (Zahr y Kaufman, 2011). Shimamura y Squire (1986) encontraron que los pacientes con síndrome de Korsakoff presentan un daño selectivo en la precisión de los juicios FOK en comparación con un grupo control amnésico, a pesar de estar igualados en el rendimiento del reconocimiento de la memoria. Estos hallazgos sugirieron que el deterioro de metamemoria se debía a los daños en las regiones cerebrales diferentes a los lóbulos temporales mediales y estructuras diencefálicas de la línea media asociados con amnesia. En línea con esta hipótesis, estudios posteriores encontraron que pacientes no amnésicos con daño del lóbulo frontal también exhibían una pobre exactitud de la metamemoria (Janowsky et al, 1989; Pannu y Kaszniak, 2005). Mientras que implicaban estructuras del lóbulo frontal en la precisión metacognitiva, estos primeros estudios carecían de especificidad anatómica.

En la medida en que los JOLs dependen del monitoreo de memoria (de la selección y actualización de la información almacenada) y la supresión de la información irrelevante (descartando la información fácilmente accesible en la memoria de trabajo), se cree que la CPF debe desempeñar un papel vital en los JOLs precisos. Pinon, Allain, Kefi, Dubas, y Le Gall (2005) evaluaron JOLs y FOKs en pacientes con lesiones del lóbulo frontal. A los sujetos se les mostraron pares de palabras, y debían hacer respuestas JOL para cada par. Después de un intervalo de retención de 20 minutos, se les mostró la primera palabra en la pareja y se les pidió que recordaran la segunda palabra. Si la recuperación no era posible, hacían un juicio FOK, que fue seguido por una prueba de reconocimiento. La exactitud del JOL se basa en el rendimiento de la recuperación, mientras que la precisión del FOK se basó en el rendimiento del reconocimiento. Pinon et al (2005) encontraron que los pacientes con lesiones de la CPF no mostraban deterioros significativos en la precisión de un JOL, pero los juicios FOK estaban alterados.

El mal desempeño de los FOK en pacientes con daño de la CPF se ha observado en otros estudios (Janowsky et al, 1989; Schnyer et al, 2004). El no observar un déficit en la precisión de un JOL puede sugerir que la CPF no es tan dependiente del monitoreo metacognitivo durante la etapa de aprendizaje en comparación con la fase de recuperación. Sin embargo, puede ser que la precisión del JOL en los pacientes realmente se beneficie de la memoria de trabajo pobre. Es decir, como consecuencia de haber sido expuestos a los pares de palabras, los sujetos control pueden haber tenido un mejor acceso a la memoria de trabajo para los estímulos que los pacientes. Como se ha demostrado que tener información fácilmente accesible en la memoria de trabajo interrumpe la precisión JOL, los sujetos control pueden haber tenido realmente desventaja en la realización de JOLs en comparación con los pacientes con daño de la CPF con capacidad reducida de la memoria de trabajo. Los pacientes en el

estudio de Schnyer et al. (2004) también mostraron déficits en el rendimiento de la memoria, pero el deterioro en la precisión de los FOK no podía explicarse sólo por estos cambios en el rendimiento. En apoyo de un papel selectivo de la CPF medial en los juicios FOK, los pacientes con lesiones superpuestas en la corteza cingulada anterior (CCA), quienes fueron agrupados en el rendimiento de reconocimiento a un grupo control, mostraron un déficit selectivo de los FOK, a pesar de tener juicios de confianza intactos (Modirrousta y Fellows, 2008). La disociación reversa fue reportada por Pannu et al (2005), quienes encontraron que los déficits en los juicios retrospectivos de confianza se asociaron principalmente con lesiones frontales laterales. Esta evidencia sugiere que los juicios prospectivos se apoyan en la función de la CPF medial, mientras que los juicios retrospectivos dependen de la CPF lateral (Fleming y Dean, 2012)

Estudio de voluntarios adultos sanos

Ha habido una escasez de estudios de Resonancia Magnética Nuclear funcional (RMNf) sobre metamemoria en sujetos normales teniendo en cuenta la enorme cantidad de investigación sobre la memoria utilizando este método. Los estudios que han utilizado la resonancia magnética funcional para examinar la metamemoria han examinado FOKs o estados TOT. Una menor cantidad de trabajos han examinado JOLs (Schwartz y Bacon, 2008).

En los estudios sobre metamemoria, el monitoreo durante el aprendizaje se produce como un JOL, en el que los individuos determinan el grado en el que un elemento de estudio ha sido aprendido y será recordado en un momento posterior. Por ejemplo, Nelson y Dunlosky (1994) les pidieron a individuos aprender pares de palabras (por ejemplo, océano-árbol) y luego les mostraron la primera palabra (océano-?) y les pidieron que determinaran la probabilidad de que fueran capaces de recordar la segunda palabra si la prueba se hiciera 10 minutos después. Nelson y Dunlosky (1994) encontraron que la exactitud de los JOLs aumentaba sustancialmente si los juicios se retrasaron durante unos pocos minutos después de la presentación inicial. Diversas explicaciones se han propuesto para el efecto del retraso en el JOL, aunque una explicación viable se refiere a la influencia negativa de tener la información de estudio actualmente en la memoria de trabajo y por lo tanto fácilmente accesible a la vez que se hacen JOLs. Es decir, cuando el material de estudio acaba de ser presentado, puede ser difícil evaluar la recuperación de la memoria de largo plazo porque la información es tan fácilmente disponible en la memoria de trabajo. De hecho, en otros paradigmas, la recuperación de la memoria está significativamente alterada cuando la información de la memoria de trabajo entra en conflicto con la información que va a ser recuperada (Dodson y Shimamura, 2000).

Kao et al (2005), utilizando la tecnología de resonancia magnética funcional, analizaron la capacidad de las personas para predecir su capacidad para reconocer más tarde imágenes visuales. Usando este paradigma, Kao et al examinaron las dos áreas del cerebro involucradas en la codificación (lóbulos temporales mediales) y aquellas involucradas en el monitoreo. En consonancia con el papel crucial de la corteza prefrontal en la metacognición, Kao et al encontraron que la corteza prefrontal ventromedial izquierda se asoció con JOLs pero no con el rendimiento de memoria. Esta preferencia hemisférica izquierda se encontró a pesar de que los estímulos fueron visuales. Kao et al también encontraron que áreas de la corteza prefrontal, lateral y dorsomedial, se asociaron con los JOLs y recuperación exitosa. Así, en este estudio RMNf de los JOLs, hay datos que apoyan el papel fundamental de la corteza prefrontal en los juicios metacognitivos.

Maril, Simons, Weaver, y Schacter (2005) compararon los estados TOT y FOKs en el mismo estudio utilizando los mismos estímulos. Los estímulos fueron similares a los utilizados por este mismo grupo unos años antes (Maril et al, 2001). Los experimentadores dieron al participante dos palabras claves (por ejemplo, Carmen, compositor), y los participantes tenían que recordar el nombre del compositor de la ópera Carmen (Bizet). Si los participantes no podían recordar el objetivo, tuvieron la oportunidad de presionar un botón que significaba FOK o que significaba TOT. En consonancia con su anterior trabajo (Maril et al, 2001), Maril et al (2005) encontraron que los estados TOT, pero no los FOKs, se asociaron con actividad en la corteza cingulada anterior, la corteza prefrontal dorsolateral derecha y la corteza inferior derecha. No encontraron, sin embargo, actividad asociada únicamente a los FOKs. Los estados FOK y TOT exhiben similares activaciones neurales, aunque a menudo parece ser una respuesta escalonada de tal manera que la activación en las regiones de la CPF (ventrolateral, anterior, dorsomedial) es mayor para los estados TOT que para los juicios FOK en ausencia de un estado TOT.

En contraste con los FOKs y los estados TOT, que de acuerdo con las evidencias encontradas por algunos investigadores en estudios no replicados se basan en procesos en la corteza prefrontal, independientemente de su ubicación en el hemisferio izquierdo y derecho, un estudio sugiere que no toda la metamemoria puede ser dirigida por los procesos prefrontales (Chua et al, 2006). Chua et al (2006) examinaron RCJs después de juicios de reconocimiento en un paradigma de cara-nombre. Tras el reconocimiento, los participantes juzgaron su confianza en la exactitud de su respuesta. Durante esta decisión, Chua et al. encontraron actividad en el lóbulo parietal (medial y lateral) cuando se compararon RCJs con reconocimiento. Comparando el alto grado de confianza con la poca confianza se reveló actividad en el hipocampo y la corteza cingulada así como en otras regiones límbicas. Así,

aunque el cíngulo está activo en los estados TOT y en los juicios de confianza retrospectivos, las demás regiones son muy diferentes. Las activaciones parietales pueden referenciar los procesadores de nivel objeto relacionadas con el acceso de la información almacenada (Shannon y Buckner, 2004; Wagner et al, 2005).

En resumen, la CPF estaría íntimamente involucrada en el control metacognitivo durante todas las etapas de aprendizaje y memoria. La CPF ventrolateral y dorsolateral están más frecuentemente asociadas con los procesos de control de este tipo. La CPF ventrolateral es importante para la selección y el mantenimiento de la información en la memoria de trabajo, mientras que la CPF dorsolateral es importante para un control más complejo, como la manipulación y la actualización de la información en la memoria de trabajo.

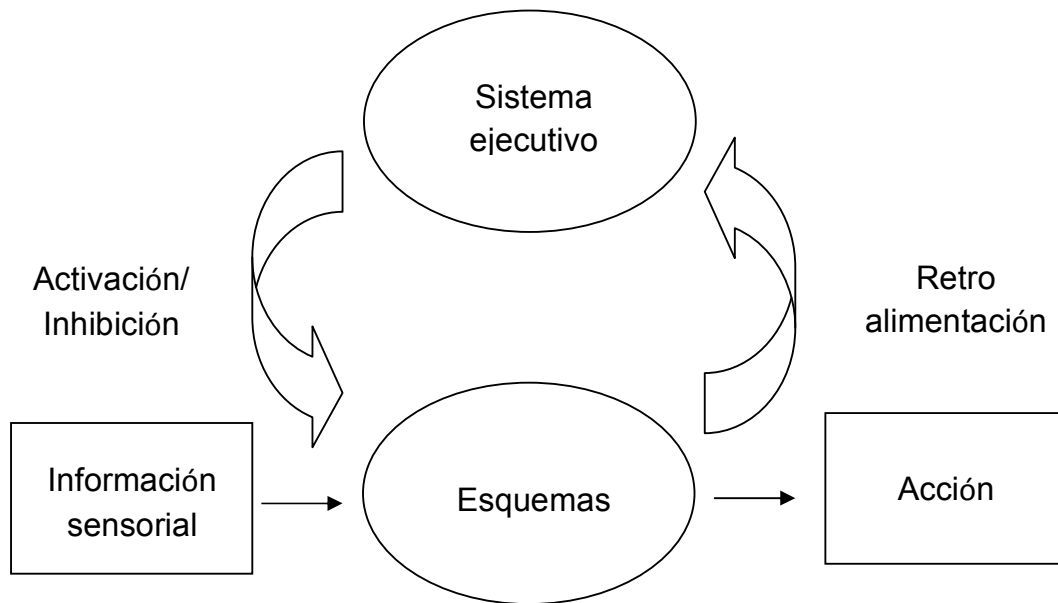
CORRELATOS NEURALES DE LAS FUNCIONES EJECUTIVAS

El estudio de las FE se ha llevado a cabo por psicólogos cognitivos interesados en adultos normales y en pacientes con lesión cerebral. La neurociencia cognitiva ha proporcionado una aproximación analítica al desempeño en la ejecución de tareas (traída desde la psicología cognitiva), y ha tratado de vincular los procesos de control cognitivo a estructuras cerebrales (Fernández-Duque, 2000; Shimamura, 2000, 2008; Schwartz, 2008; Fleming y Dean, 2012).

Las FE se han definido como los procesos que asocian ideas, movimientos y acciones simples y los orientan a la resolución de conductas complejas (Shallice, 1982). Luria (1964, 1988) fue el primer autor que, sin nombrar el término –el cual se debe a Lezak–, conceptualizó las FE como una serie de trastornos en la iniciativa, la motivación, la formulación de metas y planes de acción y el autocontrol de la conducta, asociados a lesiones frontales. Lezak (1982, 1987) define las FE como las capacidades mentales esenciales para llevar a cabo una conducta eficaz, creativa y aceptada socialmente. A su vez, Sholberg y Mateer (1989) consideran que las FE abarcan una serie de procesos cognitivos entre los que destacan la anticipación, elección de objetivos, planificación, selección de la conducta, autorregulación, autocontrol y uso de retroalimentación (*feedback*). Mateer, en esta misma línea cognitivista, refiere los siguientes componentes de la funciones ejecutivas: dirección de la atención, reconocimiento de los patrones de prioridad, formulación de la intención, plan de consecución o logro, ejecución del plan y reconocimiento del logro.

Cuando se leen con detenimiento las distintas definiciones de FE puede observarse que existe acuerdo en señalar que dicho término se refiere, de forma genérica, al control de la cognición y a la regulación de la conducta (Figura 3.2) a través de diferentes procesos cognitivos relacionados entre sí (Tirapu-Ustároz et al, 2002). Los estudios de neuroimagen han demostrado la activación de una red de áreas frontales en las tareas de las FE. Las áreas activadas por lo general incluyen el área motora suplementaria y cingulada anterior, la corteza orbitofrontal, la corteza prefrontal dorsolateral, y porciones de los ganglios basales y el tálamo. Las tareas que activan estas áreas por lo general requieren que los sujetos hagan frente a conflictos, errores, o inhiban respuestas inapropiadas, por lo tanto, exigen un procesamiento cognitivo con esfuerzo (Bush et al, 1998, 2000). Estas capacidades mentales pueden ser las herramientas fundamentales que utilizan los pensadores metacognitivamente sofisticados en la realización de tareas complejas, tales como la resolución de problemas, la selección de estrategia y la toma de decisiones (Fernández-Duque, 2000; Shimamura, 2008).

Figura 3.2. Un modelo muy difundido de las funciones ejecutivas es el propuesto por Norman y Shallice en 1986 y reproducido aquí desde Fernández-Duque et al 2000. En este modelo, las funciones ejecutivas (o sistema ejecutivo) controlan o inhiben la ejecución por parte de los esquemas de representación ubicados en un nivel inferior. Estos esquemas se construyen con base en la información obtenida a través de los sentidos y serían la base de la acción conciente. A medida que se ponen en marcha, envían señales de retroalimentación al sistema ejecutivo para que se actualice el modelo de los esquemas que actualmente se están implementando.



Debido a su complejidad, no es posible identificar su fisiología subyacente sin descomponerlas en operaciones mentales más simples. Por ello se han diseñado test neuropsicológicos que evalúan cada una de las FE por separado. Por su relevancia para los propósitos de este trabajo, se revisa la evidencia neuroimagenológica de las pruebas que evalúan la resolución de conflictos, el control inhibitorio, el monitoreo de la memoria y la detección y corrección de errores.

Resolución de conflictos

Las tareas tipo Stroop o las de flanqueo se han utilizado para estudiar el conflicto en el que dos estímulos o características presentados simultáneamente interfieren entre sí.

Por ejemplo, en una tarea de flancos (Botvinick et al, 1999) los sujetos indican la dirección de una punta de flecha central (señalando a la izquierda o a la derecha) cuando son flanqueados por puntas de flecha congruentes (<<<<<<) o incongruentes (> > <>>). En los análisis de resonancia magnética funcional, la CPF dorsomedial (BA32) está particularmente activa durante los ensayos incongruentes en comparación con los ensayos congruentes (Botvinick et al, 2004). En las tareas tipo Stroop, la CPF dorsomedial, dorsolateral y la corteza parietal están particularmente activas en condiciones de conflicto (Zysset et al, 2001). En tales condiciones, las regiones parietales representan y procesan las ubicaciones espaciales de las puntas de flecha. Botvinick, y cols (2004) proponen que la CPF

dorsomedial (es decir, la corteza cingulada anterior) supervisa el conflicto cognitivo, mientras que la CPF dorsolateral controla estos módulos.

Otro ejemplo clásico de conflicto atencional es la tarea de Stroop (1935). En este paradigma, a los sujetos se les pide que nombren el color de la tinta en el que se presenta una sola palabra. La palabra en sí puede ser un nombre de color diferente del color de la tinta con que es presentada (condición incongruente) o del mismo que el color de la tinta (condición congruente). Los tiempos de reacción resultantes y la tasa de error se comparan contra una condición neutra en la que se presenta una palabra sin color o una cadena de letras. Las pruebas de palabra con color requieren una selección entre la información de la palabra y la información del color de la tinta, independiente de la congruencia del tipo de prueba. Estos datos demuestran que la selección de una de las dimensiones de un estímulo multidimensional representa una situación de conflicto que requiere mecanismos de control ejecutivo. El momento de la activación del cíngulo sugiere que tiene que ver con la resolución del conflicto entre las vías de entrada relacionadas con el color de la tinta o el nombre del color en los casos en los que ambos están activos (Peterson et al, 1999).

Control inhibitorio

La corteza cingulada anterior también es activada por otras tareas que requieren el control inhibitorio. En la tarea de “generación de uso”, por ejemplo, la respuesta prepotente (la lectura de la palabra en voz alta) tiene que ser inhibida para permitir que la respuesta correcta sea expresada (diciendo la función de la palabra). En las tareas go/no-go, la respuesta motora tiene que ser inhibida siempre que se produzca una prueba no-go. Los estudios de imagen revelan la activación de la corteza cingulada anterior en ambas tareas (Casey et al, 1997; Raichle et al, 1994).

Según Botvinick et al (2001) los procesos de monitoreo y control de los conflictos son funciones disociables, siendo procesadas por diferentes regiones de la CPF. Otra forma de conflicto de estímulo se produce como efectos de interferencia cruzada de los ensayos. Jonides et al (1998) desarrollaron una tarea de reconocimiento en la que un conjunto de estímulos de cuatro letras es seguido por uno de una sola letra. En cada ensayo, los sujetos determinan si la letra objetivo se encontraba en el conjunto de estímulos. Para algunas pruebas, la letra objetivo no se presentó durante el ensayo actual, pero se había presentado justo en el anterior. Por lo tanto, en estos ensayos “negativos recientes”, el conflicto se produjo porque el sujeto debe suprimir la necesidad de responder "sí" a una letra objetivo que había

sido presentada recientemente, pero no en el ensayo actual. Jonides et al (1998) demostraron que la CPF ventrolateral izquierda estuvo particularmente activa en los ensayos negativos recientes (Badre y Wagner, 2005; Postle y Brush, 2004). Estos hallazgos son consistentes con los hallazgos neuropsicológicos en el que los pacientes con lesiones de la CPF fallan en suprimir las respuestas recientemente activadas pero irrelevantes (Thompson-Schill et al, 2002). Los autores sugieren que la CPF ventrolateral está implicada en la selección de respuesta, en particular cuando se enfrentan respuestas en conflicto

La detección y la corrección de errores.

Es común que los sujetos cometan errores cuando realizan una tarea. Los sujetos normales tienen la capacidad de evaluar internamente su propio desempeño, detectando errores incluso en ausencia de cualquier información externa. Muchos estudios han demostrado que, tras la detección de un error, los sujetos ajustan la velocidad de su desempeño para alcanzar un nivel adecuado de exactitud (Robertson et al, 1997). Se piensa que este cambio en la relación velocidad-precisión generalmente es parte de una estrategia conciente. Desde este punto de vista, la detección de un error informa a los sujetos que su velocidad de respuesta es demasiado rápida para mantener un adecuado nivel de precisión, y los sujetos reaccionan a esta información haciéndose más lentos. En los últimos años, los estudios de imagen han proporcionado pruebas de un sistema de monitoreo de errores, que se localiza en las zonas mediales del lóbulo frontal.

Por ejemplo, los estudios utilizando la técnica de resonancia magnética funcional han puesto de manifiesto una mayor activación en la corteza cingulada anterior en las condiciones de tarea que conducen a errores (Carter et al, 1998). La activación de la corteza cingulada anterior es en parte debida a la detección de errores, pero también puede ser provocada por el aumento de dificultad de la tarea, sobre todo cuando la dificultad refleja los conflictos entre los elementos de la tarea (Carter et al, 1998). Esta activación del cíngulo anterior existe incluso durante los ensayos correctos (ensayos en los que la detección de errores está ausente). Dado que la dificultad de la tarea suele ir acompañada de una mayor probabilidad de errores, no es de extrañar que la mayor dificultad esté también asociada con la activación de áreas cerebrales que participan en el monitoreo de errores.

Monitoreo de la memoria

Nuestra capacidad para mantener y manipular la información en la memoria de trabajo depende de la CPF. Los pacientes con lesiones de la CPF dorsolateral exhiben una capacidad de memoria inmediata reducida para una variedad de estímulos, incluyendo cifras, ubicaciones espaciales, colores y sonidos (Baldo y Shimamura, 2000; Chao y Knight, 1998). Los estudios de neuroimagen han confirmado el papel de la CPF en el mantenimiento de la información en la memoria de trabajo (D'Esposito et al, 1999, 2000). Diferentes regiones prefrontales son responsables de mantener diferentes tipos de información. Por ejemplo, una mayor actividad en la CPF ventrolateral izquierda se observa cuando se les pide a los individuos que mantengan los nombres de los objetos en la mente, mientras que una mayor actividad en la CPF ventrolateral derecha se observa cuando a los individuos se les pide mantener localizaciones espaciales en la mente (Awh y Jonides, 2001). En muchos casos, estas activaciones prefrontales están vinculadas a las activaciones de las regiones posteriores del cerebro, lo que sugiere que el mantenimiento de la información en la memoria de trabajo requiere un circuito neural que incluye la información a ser activada (que se supone que se almacena en corteza posterior) y el proceso de control ejecutivo que mantiene la información activa (que se supone que se establece por la CPF).

Considerando que el mantenimiento de la información en la memoria de trabajo depende de la CPF ventrolateral, la manipulación de la información también recluta la CPF dorsolateral. En un estudio de resonancia magnética funcional, D'Esposito et al (2000) les pidieron a los participantes mantener una cadena de letras o manipular las letras reordenándolas en orden alfabético. La CPF dorsolateral se mostró especialmente activa cuando se les pidió a los sujetos reordenar las letras en comparación con el simple mantenimiento de la cadena en su orden de presentación. Otro paradigma de memoria de trabajo, la tarea "*n*-atrás", también se ha utilizado para evaluar la manipulación y la actualización del estímulo (Cohen et al, 1997; Owen et al, 2005). La más simple tarea *n*-atrás es una tarea 1-atrás en la que los sujetos determinan si el estímulo en el ensayo actual (es decir, el ensayo *n*) coincide justo con el del ensayo previo (es decir, el de la prueba *n* - 1). La tarea se hace más difícil haciendo que los sujetos monitoreen y coordinen múltiples ensayos. Por ejemplo, para un ensayo en una tarea 2-atrás, los sujetos deben codificar el estímulo actual, determinar si coincide con el estímulo *n* - 2 (es decir, el estímulo de dos ensayos antes), mantener el estímulo *n* - 1 para la siguiente prueba, y mantener el proceso actual para el ensayo *n* + 2. Como lo demuestra este ejemplo, se requiere control cognitivo para seleccionar, mantener, actualizar y redireccionar los estímulos a través de múltiples ensayos *n*-atrás. Los estudios de neuroimagen muestran que muchas de las regiones de la CPF, incluidas las regiones de la CPF ventrolateral, dorsolateral, posterior y dorsomedial, son reclutados en tareas 2 - y 3-atrás al compararlas con la tarea 1-atrás (Owen et al, 2005).

Está claro desde las primeras investigaciones cognitivas que nuestra capacidad para codificar y organizar la información de una manera significativa en gran medida facilita el aprendizaje y la memoria (Mandler, 1980). Estos estudios sugirieron que nuestra habilidad de reorganizar o fragmentar la información de forma significativa reduce la carga en la memoria de trabajo y facilita el vínculo asociativo. Los pacientes con daño en la CPF exhiben pobres estrategias de organización durante el aprendizaje, y fallan en la elaboración de los estímulos y en agruparlos en categorías significativas (Gershberg y Shimamura, 1995). Los estudios de neuroimagen corroboran el papel de la CPF en la codificación de la elaboración. Por ejemplo, se ha mostrado que la CPF ventrolateral izquierda está particularmente activa cuando a las personas se les pide considerar el significado de los elementos, tales como determinar si una palabra es concreta (por ejemplo, el peso) o abstracta (por ejemplo, la libertad) en comparación con condiciones en las que determinan características superficiales, como el número de vocales en una palabra (Wagner, 2002).

Durante el aprendizaje, la activación del cerebro en las regiones prefrontales predice el éxito de su posterior recuperación. En los análisis de resonancia magnética funcional, la activación durante el aprendizaje se analizó sobre la base de si los elementos fueron recordados u olvidados más tarde (Wagner et al, 1998; Paller y Wagner, 2002). Los elementos recordados se asociaron con una mayor actividad de la CPF ventrolateral izquierda durante el aprendizaje en comparación con objetos olvidados. En otras palabras, si uno recluta la CPF durante la codificación de un elemento, aumenta sus posibilidades de recordar más adelante el artículo. Este método de activaciones cerebrales de clasificación hacia atrás durante el aprendizaje en términos de si los elementos son posteriormente recordados u olvidados ofrece un medio útil para relacionar las estrategias eficaces de codificación para la recuperación de la memoria a largo plazo (Paller y Wagner, 2002). Estos hallazgos, junto con los resultados anteriormente citados sobre el papel de la CPF ventrolateral en la memoria de trabajo sugieren que el éxito del aprendizaje depende de una serie de procesos de control ejecutivo, incluyendo la selección, el mantenimiento, la actualización, y la fragmentación.

Los hallazgos de neuroimagen sugieren que diferentes regiones de la CPF cumplen diferentes funciones de control. La CPF ventrolateral es importante en la selección de la información semántica y en mantener esa información en la memoria de trabajo (Wagner et al, 2001; Thompson-Schill et al, 2002). La CPF dorsomedial (la corteza cingulada anterior) está involucrada en el monitoreo del conflicto cognitivo en los procesadores de nivel objeto (Botvinick et al, 1999, 2004). La CPF dorsolateral facilita la manipulación de la información en la memoria de trabajo mediante la actualización y redireccionamiento del procesamiento de la información (Shimamura, 2000b; Simons y Spiers, 2003).

REGULACIÓN METACOGNITIVA Y FUNCIONES EJECUTIVAS: DOS DENOMINACIONES PARA UN MISMO GRUPO DE FUNCIONES CEREBRALES?

Desde sus descripciones teóricas iniciales (Brown, 1987), la metacognición ha estado estrechamente relacionada con la funciones ejecutivas (o control ejecutivo), que implica la capacidad de monitorear y controlar el procesamiento de la información necesaria para producir la acción voluntaria. A pesar de su similitud conceptual, la mayor parte de la investigación sobre la metacognición y las funciones ejecutivas se ha realizado por canales separados, relativamente independientes (Carlson et al,1998; Garner, 1994; Hughes, 1998; Mazzoni y Nelson, 1998).

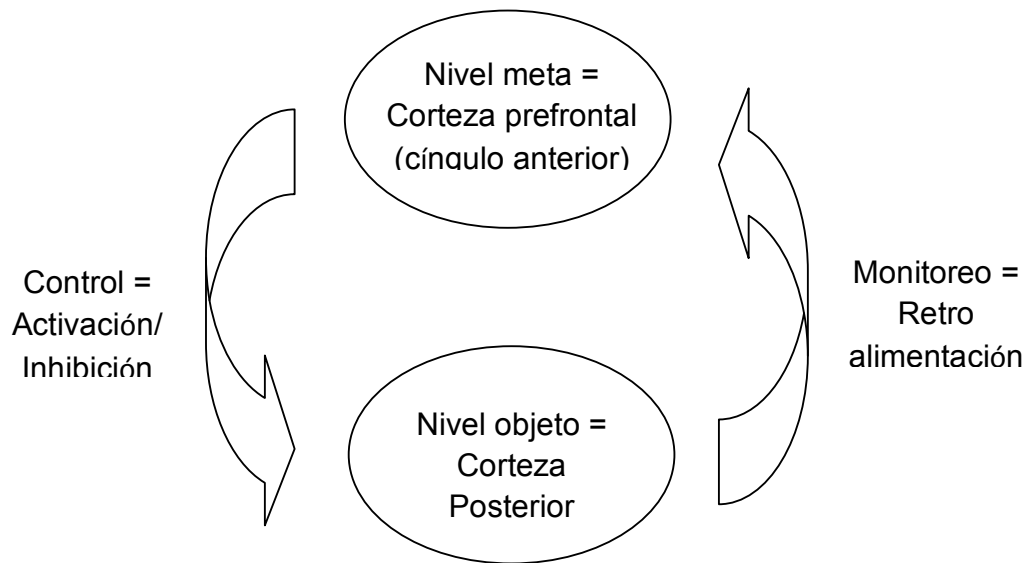
Con base en los estudios presentados existen buenas razones para argumentar que los datos de la neuroimagen sobre la metacognición son consistentes con el marco conceptual de Nelson y Narens (1990). En primer lugar, los datos apoyan la idea de que cada juicio metacognitivo (JOLs, EOLs, FOK, etc.) es una expresión única del sistema de monitoreo. Es decir, parece que diferentes circuitos en el cerebro están involucrados en juicios diferentes y con respecto a diferentes tipos de estímulos. Por lo tanto, los JOLs son diferentes de los FOKs en la forma en la que se hace el juicio, el tipo de información en que se basa, y en las áreas del cerebro responsables. Aunque ambos parecen mediados por la corteza ventromedial izquierda, los FOKs también parecen basarse en la corteza prefrontal inferior. Por otra parte, Maril y sus colegas (Maril et al, 2001, 2005) mostraron que las diferencias sutiles entre los estados TOT y los FOKs pueden atribuirse a diferentes circuitos neurales. Los estados TOT se asientan en la corteza prefrontal dorsolateral derecha, mientras que los FOKs aparecen en la corteza ventromedial izquierda. Por último, algunos juicios, en particular los RCJs, parecen tener una base neural diferente, en el lóbulo parietal más que en el frontal.

La evidencia convergente de varias áreas de la psicología cognitiva sugiere un papel fundamental para la corteza prefrontal en la mayoría de los aspectos de la metacognición y de las funciones ejecutivas. Aunque esta conclusión no es nueva (Janowsky, Shimamura, y Squire, 1989; Shimamura, 2000, 2008), los datos de neuroimagen han sido capaces de identificar la función dentro de la corteza prefrontal y de distinguir entre los diferentes procesos de monitoreo cuán diferencialmente se activan las áreas del cerebro durante el aprendizaje. Es decir, con el advenimiento de la resonancia magnética funcional (RMNf) y otras técnicas de neurociencia convergente, los investigadores están comenzando a descubrir un verdadero correlato más preciso entre las funciones del cerebro y los procesos que regulan la cognición.

Las funciones ejecutivas están integradas por una red de regiones cerebrales, los estudios clínicos han implicado a los lóbulos frontales como el mayor contribuyente (Shallice, 1988). Como se puede apreciar, las diferentes pruebas para medir las FE activan áreas del cerebro muy cercanas a las que se activan cuando se realizan juicios metacognitivos.

Se ha propuesto que la función principal de la corteza prefrontal, en particular la región del cíngulo anterior, no es la resolución de conflictos, sino el monitoreo de conflictos (Carter, Botvinick, y Cohen, 1999). Desde este punto de vista, la corteza cingulada anterior evalúa las condiciones en las cuales es probable que ocurran conflictos o errores, y transmite esta información a las áreas prefrontales laterales para la resolución de conflictos. Esta distinción entre el monitoreo de los conflictos y la resolución de conflictos se acomoda muy bien a la distinción que se hace en la literatura metacognitiva entre el monitoreo cognitivo y el control cognitivo (Fernández-Duque et al, 2000). La figura 3.3 resume los hallazgos que relacionan la regulación metacognitiva con las funciones ejecutivas a nivel cerebral.

Figura 3.3. Con base en la revisión sistemática de la literatura que utiliza tareas simples para descomponer las funciones ejecutivas básicas (control inhibitorio, resolución de problemas y detección y corrección de errores), las cuales a nivel cerebral activan áreas similares a las que se activan en los paradigmas de la metamemoria, con base en el modelo de Nelson y Narens (1994), se plantea que el nivel meta corresponde a un sitio específico en la corteza prefrontal, la corteza cingulada anterior, y el nivel objeto se corresponde con la corteza posterior.



Una conclusión parcial hasta esta parte del trabajo, y con base en la revisión anterior, es que parece obvio que en lo que al funcionamiento cerebral se refiere, regulación metacognitiva y funciones ejecutivas representan el mismo conjunto de áreas activadas durante el aprendizaje en tareas de laboratorio a la vez simples y controladas; sin embargo no hay que olvidar que muchos de estos estudios de imagen cerebral han sido diseñados con el objetivo de aislar las regiones cerebrales responsables de una función mental específica, y el desempeño de los sujetos sometidos a estas se ha medido en la mayoría de los casos durante sesiones de aprendizaje únicas.

Con base en estos resultados, que revelan por el momento la existencia de una región cerebral central para la metacognición, puede darse la impresión de que el cerebro está compuesto, como supone el modelo de Nelson y Narens (1994) por sólo dos niveles de procesamiento especializado, lo cual desconoce completamente las mas recientes pruebas neurofisiológicas que demuestran que el cerebro funciona como una red de regiones que trabajan en concierto, y que varias regiones son capaces de regular, controlar, y procesar, de forma jerárquica, la información obtenida de otros niveles de funcionamiento (Badre, 2005; Cole et al, 2011). De hecho, varios modelos recientes de la función cerebral local y en gran escala se basan en la jerarquía como un factor principal de la organización (Friston, 2005; Koechlin y Hyafil, 2007).

Esta visión del funcionamiento cerebral en tareas simples no tiene en cuenta los efectos que se han demostrado tiene el aprendizaje sobre el cerebro, ni las constricciones que la toma de decisiones en un ambiente cargado de estímulos imponen a la cognición.

En el capítulo siguiente se expondrá cómo, a partir de los más recientes hallazgos de la neurociencia cognitiva, se están empezando a develar nuevos aspectos de la función cerebral, especialmente de su región más anterior, y su destacado papel en la metacognición, en el control emocional y en el aprendizaje en tareas más complejas.

CAPÍTULO IV

REVISION SISTEMÁTICA DE LA EVIDENCIA MÁS ACTUAL DESDE LA NEUROCIENCIA COGNITIVA SOBRE EL FUNCIONAMIENTO COGNITIVO Y EMOCIONAL DURANTE TAREAS COMPLEJAS DE APRENDIZAJE.

En este capítulo se realizará una revisión sistemática de los estudios más recientes que aplican metodologías neurocientíficas convergentes – resonancia magnética funcional y estructural, estimulación magnética transcraneal y estudios neuropsicológicos – para revelar los sustratos neurales en situaciones de aprendizaje complejas.

En esta parte del trabajo se discuten los procesos cognitivos a la luz de las nociones neurocientíficas más recientes sobre el aprendizaje y la emoción y su influencia sobre una jerarquía de funcionamiento cerebral que va más allá de las concepciones clásicas de la psicología cognitiva sobre las funciones ejecutivas y el modelo bidimensional de la cognición de Nelson y Narens (1994).

En esta sección se van a ver los efectos de la práctica en las tareas cognitivas que emplean paradigmas que involucran realizar más de una tarea al mismo tiempo. Estos estudios fueron diseñados para investigar los cambios cerebrales asociados con el aprendizaje y la práctica, constituyéndolos en paradigmas más cercanos al desempeño que puede tener un estudiante.

Los estudios imagenológicos aquí analizados muestran como interactúan las diferentes regiones del cerebro durante el aprendizaje y bajo el control emocional. Se hace evidente la falta de un modelo integrador que prediga, con base en los hallazgos neuroimagenológicos más recientes de estudios realizados en contextos más ricos y con paradigmas de aprendizaje más cercanos a los que enfrentarían los estudiantes en un aula, como es la dinámica de la relación entre las cortezas prefrontal dorsolateral y anterior y de estas con las cortezas posteriores y con centros de regulación subcorticales durante el aprendizaje en el marco del control metacognitivo.

EL APORTE DE LAS TAREAS “CLÁSICAS” DE LAS F.E. Y DE LOS PARADIGMAS DE LA METAMEMORIA A LA COMPRENSIÓN DEL FUNCIONAMIENTO CEREBRAL DURANTE EL APRENDIZAJE EN AMBIENTES CONTROLADOS

Con la difusión en la década de los 1990 del uso de las neuroimágenes para evaluar el funcionamiento cerebral durante la realización de tareas cognitivas simples, se mejoró considerablemente nuestra capacidad para examinar individualmente las áreas del cerebro implicadas en la percepción, la memoria, el lenguaje, el control motor, y muchos otros aspectos de las funciones ejecutivas (Posner y Raichle, 1996).

El estudio de las funciones ejecutivas utilizando los clásicos paradigmas del laboratorio de neuropsicología, y de la regulación metacognitiva utilizando los paradigmas del modelo de la metamemoria (que como se vio al parecer tienen su asiento en regiones corticales comunes) ha sido particularmente importante para identificar las estructuras físicas concretas del cerebro que intervienen en la realización de las operaciones de selección y otros aspectos de la regulación del aprendizaje (Posner y Rothbart, 1998).

Mientras que los estudios de neuroimagen al desarrollar tareas únicas pueden proporcionar indicios en la comprensión de cómo y por qué se producen cambios fisiológicos a nivel cortical durante el aprendizaje en cualquier tarea de metamemoria o de control inhibitorio, estos paradigmas simples no dan cuenta de la capacidad de procesamiento de la que es capaz nuestro cerebro cuando se enfrenta a tareas de aprendizaje complejas como las que resuelve cualquier estudiante de secundaria.

Las nuevas tendencias en la neurociencia cognitiva conciben al cerebro como un órgano dinámico, que solamente puede llegar a entenderse mediante un abordaje multidisciplinar que haga eco de esta dinámica y no se contente con observar el desempeño del cerebro en una simple tarea y luego pretenda, a partir de datos aislados, darnos un panorama ampliado de lo que sucede durante procesos dinámicos como el aprendizaje, como ha sucedido hasta ahora. Siendo el cerebro un órgano plástico, se requiere que su funcionamiento sea observado en diferentes momentos del aprendizaje y bajo diferentes paradigmas, que simulen más fielmente lo que puede suceder en un aula convencional (Wiley y Jee, 2011).

LOS EFECTOS DEL APRENDIZAJE SOBRE EL FUNCIONAMIENTO CEREBRAL

La capacidad de reconfigurar rápidamente nuestras mentes para llevar a cabo nuevas tareas es importante para adaptarse a un mundo en constante cambio, sin embargo, poco se sabe acerca de su base en el cerebro. La capacidad de adaptarse con flexibilidad a las nuevas circunstancias es un aspecto fundamental de la inteligencia humana (McClelland, 2009; Cole et al, 2010). Su profunda importancia para la vida diaria se pone de manifiesto por el debilitamiento sustancial de personas que carecen de esta capacidad (Burgess, 1997; Gottfredson, 2002). Por ejemplo, los individuos con lesiones en la corteza prefrontal lateral (CPFL) tienen dificultades para hacer compras y otros mandados comunes, especialmente cuando son novedosos y complejos (Shallice y Burgess, 1991). Entre los neurológicamente sanos, las medidas de inteligencia fluida - también asociados con la CPFL (Duncan, 2000; Burgess et al, 2011) - examinan la capacidad para resolver rompecabezas complejos nuevos, y son capaces de predecir resultados importantes de la vida como el rendimiento académico y laboral (Blair, 2006; Gottfredson y Saklofske, 2009).

Se cree que la conducta adaptativa, flexible, se basa en representaciones abstractas de reglas dentro de la corteza prefrontal lateral (CPFL), sin embargo sigue siendo poco claro como esas representaciones proporcionan flexibilidad (Cole et al, 2011). A pesar de su importancia para entender porqué, por ejemplo, un estudiante no mejora su desempeño con la práctica continua de un tema particular, no se entiende exactamente cómo el cerebro humano permite este tipo de aprendizaje rápido de nuevas tareas complejas (es decir, las nuevas reglas de varios procedimientos), y tampoco está claro cómo la preparación para la tarea cambia con la práctica de la misma (Cole et al, 2010).

Entre las características más profundas del desempeño humano se encuentran los cambios dramáticos en la velocidad de procesamiento, la precisión y el esfuerzo que se dan a través de la práctica (Schneider y Chein, 2003). Estudios previos de neuroimagen han demostrado que estos beneficios de la práctica pueden coincidir con los grandes cambios en la neuroanatomía funcional de la ejecución de tareas (Pettersson et al, 1999). Estos estudios han demostrado que cuando las tareas involucran realizar entradas y salidas constantes de información la utilización repetida de éstas a través de la práctica de la tarea puede llevar a una mejora sustancial en el rendimiento de la misma, tanto a un aumento en la precisión de la respuesta como a una aceleración de los tiempos de respuesta.

Los seres humanos son los únicos capaces de aprender rápidamente una variedad casi infinita de posibles nuevas tareas desde la instrucción (Braver y Barch, 2006; Monsell, 1996). Esta forma de aprendizaje permite una rápida adaptación a situaciones nuevas y la transferencia de habilidades previamente adquiridas, aumentando enormemente la flexibilidad cognitiva de nuestra especie. A pesar de la contribución destacada de la enseñanza a la reconfiguración de las redes de representación cerebrales y en general para la cognición humana, se sabe poco acerca de cómo se implementa el aprendizaje en el cerebro a partir del entrenamiento y desde las fases tempranas del mismo hasta su consolidación (Cole et al, 2010).

LA REALIDAD DEL DESEMPEÑO ESCOLAR NORMAL: LA REALIZACIÓN DE MÚLTIPLES TAREAS COGNITIVAS Y MOTORAS ES LA REGLA, NO LA EXCEPCIÓN.

A diferencia del laboratorio de neuropsicología donde el investigador puede medir una a una las habilidades cognitivas o motoras de un participante mientras lo expone a estímulos determinados, en el salón de clases los estudiantes deben atender a múltiples estímulos al mismo tiempo, tanto los generados internamente como los codificados por el medio; y deben utilizar todos sus recursos cognitivos en paralelo para aprender.

Un aspecto importante del rendimiento escolar es la capacidad de realizar múltiples tareas cognitivas al mismo tiempo. Es frecuente que en clase no solamente el estudiante deba utilizar su memoria de trabajo, también debe utilizar muchas otras habilidades cognitivas como la atención, la percepción, el cálculo, el control inhibitorio, la corrección de errores, el monitoreo del medio ambiente, todos sus sentidos, entre muchas otras, todas al mismo tiempo, con el fin de aprender un concepto nuevo.

El paradigma de tarea doble

Para tratar de modelar mejor una situación típica de aprendizaje, recientemente se ha empleado un paradigma de tarea doble que supone la realización de dos o más tareas en estrecha proximidad temporal (Meyer y Kieras, 1997; Pashler, 1994). El desempeño simultáneo que típicamente no está entrenado resulta en una disminución en la precisión y en un aumento del tiempo de reacción en relación con tareas de desempeño aisladas donde la práctica mínima tiene el efecto contrario.

Hay una variedad de patrones de activación que se han observado al contrastar las condiciones individuales y el de las tareas dobles. Esto no es sorprendente si se considera el rango de paradigmas a que se hace referencia como tareas dobles. Una tarea doble puede estar compuesta de subtareas que implican componentes de tareas simultáneas o componentes de tareas temporalmente separados. Las subtareas a veces son tareas simples, como la detección o la discriminación, o más complejas, tales como la rotación espacial o la comprensión lectora.

En términos generales, dos cosas importantes que suceden a la vez suelen implicar un mayor esfuerzo y tiempo de ejecución que las tareas individuales. En este tipo de tareas, a diferencia de las de tarea única, la motivación y los efectos de la práctica son considerados como variables importantes que afectan el rendimiento de una o de todas las tareas que se evalúan.

Uno de los primeros trabajos utilizando una tarea doble fue publicado por D'Esposito, Detre, Alsop, y Shin en 1995, quienes encontraron que el rendimiento simultáneamente de dos tareas de memoria que no involucraban directamente la memoria de trabajo activó la corteza prefrontal dorsolateral (CPFDl) y la cingulada anterior (CCA), aunque estas áreas no estuvieron activas durante la ejecución de cada uno de los componentes de la tarea por separado. El aumento de la dificultad en uno de los componentes de las tareas (rotación espacial) no dio lugar a aumentos de actividad en cualquiera de estas áreas (que podría a priori esperarse tratándose de dos tareas complejas). En conjunto, estos patrones fueron interpretados como evidencia de que la CPFDl y la CCA son áreas candidatas para la coordinación de tareas y de la función ejecutiva durante la realización de tareas dobles.

Desde la publicación de este estudio, la actividad prefrontal en tareas dobles específicas ha sido una cuestión controvertida. Adcock et al (2000) utilizaron la misma tarea que D'Esposito et al (1995), la cual se trató de una categorización semántica auditiva y una rotación espacial, y añadieron otra tarea, la coincidencia de cara, para probar además el concepto de dominio general del procesamiento de doble tarea específico. Tanto la tarea doble replicada como el nuevo par en la tarea doble activaron las áreas prefrontales, sin embargo, los componentes de las tareas también activaron estas áreas en menor medida cuando se realizaron aisladas. El hallazgo contradictorio (con respecto a la actividad prefrontal con el componente aislado de cada tarea) con respecto al estudio original puede ser el resultado de energía insuficiente o de una selección de umbral (Bunge et al, 2000) tal que la actividad prefrontal apareció de forma específica en la tarea doble en el estudio de D'Esposito. Además, estas supuestas

áreas de doble tarea (la CPFdl y la CCA) están muy frecuentemente activas también en experimentos de tareas únicas (Cabeza y Nyberg, 2000), y varios investigadores, usando una variedad de tareas, no han encontrado áreas específicas de doble tarea (Adcock et al, 2000; Bunge et al, 2000; Erickson et al, 2005c), aunque el rendimiento de doble tarea puede resultar en la activación adicional de áreas involucradas en el procesamiento de una sola tarea. Alternativamente, se ha sugerido que el rendimiento concurrente puede resultar en la modulación de las regiones cerebrales dedicadas a una sola tarea (Adcock et al, 2000; Bunge et al, 2000; Erickson et al, 2005).

El rendimiento en la doble tarea, sin embargo, no siempre se traduce en un aumento de la actividad cerebral. Cuando los componentes de las tareas compiten por los mismos recursos de procesamiento, la activación simultánea del mismo tejido puede resultar en reducciones en la tarea doble (Bunge et al, 2000; Just et al, 2001; Klingberg, 1998). Klingberg (1998) encontró que tareas de memoria de trabajo auditivas y visuales activan las mismas zonas prefrontales, del cíngulo, y parietal inferior que no son específicas de una modalidad sensorial. Además, el rendimiento concurrente resulta en una menor activación frente a la creciente demanda de memoria de trabajo. Jaeggi et al (2003) encontraron similares incrementos frontales inferiores y de la CPFdl en el rendimiento de tarea única o doble cuando la carga se varió en forma paramétrica en tareas dos *n*-atrás. Sin embargo, el aumento en la activación como consecuencia de la carga fue menor para la tarea doble, en comparación con la activación de tarea única. Esto también sugiere que el funcionamiento simultáneo no requiere necesariamente regiones de procesamiento específicas de doble tarea.

Estudios de imágenes recientes sugieren que el procesamiento de doble tarea específico ocurre cuando las tareas implican el procesamiento interferente (Herath et al, 2001; Marcantoni et al, 2003; Szameitat et al, 2002). Los estudios que emplean este paradigma encontraron actividad prefrontal específica de doble tarea que fue espacialmente distinta de la actividad para los componentes aislados de la tarea, que también activó las regiones prefrontales. La inconsistente activación prefrontal específica de doble tarea puede ser atribuible a si los rendimientos concurrentes resultan en un déficit de rendimiento y al nivel de complejidad de cada componente de la tarea. A pesar de que las diferencias de complejidad de la tarea y el desempeño parecen ser un factor que influencia la actividad prefrontal, la extensión de su impacto es aún materia de especulación. Se necesitan más investigaciones para dilucidar el papel de la corteza prefrontal en la coordinación de tareas múltiples y las interferencias.

Efecto de la doble tarea sobre las FE

Como se evidenció en el capítulo anterior, la resolución de conflictos, el control inhibitorio, el monitoreo de la memoria y la detección y corrección de errores son muy importantes para lograr el aprendizaje en tareas “simples” de laboratorio que requieren algún tipo de control o regulación (que pudiéramos llamar metacognitiva en el modelo clásico de Nelson y Narens (1994)).

Pero cuando se administran tareas un poco más “complejas”, como la tarea doble, donde se requiere la coordinación de dos tareas realizadas simultáneamente, se ha podido evidenciar que la ejecución de esta tarea no se relaciona con ninguna las FE descritas (Miyake et al, 2000, 2001), lo que induce a pensar que la coordinación de dos tareas realizadas simultáneamente es una habilidad diferenciada de las funciones ejecutivas descritas.

Efectos del aprendizaje sobre la memoria de trabajo

El modelo “clásico” de la memoria de trabajo (MT) se compone de tres partes principales, un sistema de control ejecutivo y dos sistemas de procesamiento satélites, uno implicado en la información visuoespacial y otro implicado en la información fonológica (Baddeley y Hitch, 1974). A diferencia de la memoria a corto plazo y a largo plazo, este sistema está involucrado en el procesamiento y mantenimiento de la información sobre los retrasos breves y en la manipulación de la información. Las tareas de MT tienen tres fases, la codificación de los estímulos, el retraso (cuando no está presente el estímulo y el correspondiente código debe ser mantenido y / o manipulado), y la recuperación (de los códigos o códigos transformados) para activar la respuesta.

Las tareas de memoria de trabajo han sido frecuentemente estudiadas usando medidas de comportamiento e imágenes del cerebro (Baddeley, 2003; Cabeza y Nyberg, 2000), pero sólo recientemente se han hecho estudios investigando el impacto de la práctica en estas tareas. Los estudios de imagen han informado sobre los aumentos y disminuciones relacionados con la práctica en la actividad neural, así como los cambios en la ubicación de activación (Poldrack, 2000).

Garavan et al (2000) variaron la cantidad de práctica para los participantes en una tarea visuoespacial (ubicación de puntos). Las áreas prefrontal y parietal, habitualmente implicadas en la función de la MT (Cabeza y Nyberg, 2000; Carpenter et al, 2000), estuvieron activadas durante la ejecución inicial

de esta tarea. Después de la práctica, las imágenes cerebrales mostraron una activación reducida en estas regiones. El rendimiento después de la práctica no se asoció con una mayor activación en cualquier otra región, lo que sugiere una eficiencia de procesamiento como la fuente de la reducción en oposición a una reorganización funcional, donde el rendimiento en la tarea practicada sería soportado por regiones diferentes del rendimiento inexperto. Resultados similares fueron obtenidos por Landau et al (2004), quienes encontraron que la actividad inicial en la corteza frontal, temporal, parietal, y occipital durante una tarea de MT de rostros se redujo con la práctica.

Las reducciones se produjeron en una única sesión de recolección de imágenes del cerebro, después de sólo treinta minutos de entrenamiento comportamental, lo que demuestra que la magnitud de la disminución de la activación puede ocurrir rápidamente. Otros investigadores han encontrado aumentos iniciales de la activación, con reducciones posteriores después de entrenamiento prolongado. Hempel et al (2004) entrenó a los participantes en un tarea verbal *n*-atras dos veces al día durante dos semanas. A las dos semanas, las mejoras del rendimiento se acompañaron de aumentos en la actividad del lóbulo parietal superior derecho y el surco intraparietal derecho, seguidos de funcionamiento estable y disminución de la activación después de cuatro semanas de práctica.

No todos los estudios reportan reducciones en activación relacionadas con la práctica en tareas de memoria de trabajo. Olesen et al (2004) entrenaron sujetos en una tarea visuoespacial y monitorearon la activación utilizando RMNf una vez por semana. Los aumentos encontrados en las regiones frontal y parietal fueron interpretados como evidencia de la plasticidad cortical que ocurre en una escala de tiempo más lenta a través de un amplio entrenamiento, similar a los cambios de "aprendizaje lentos" reportados en la literatura para el aprendizaje motor (Karni et al, 1995). Además, el entrenamiento experimental resultó en un mejor desempeño en varias pruebas neuropsicológicas no entrenados (por ej., en tareas espaciales, incluidas las matrices progresivas de Raven, una tarea que implica razonamiento). Olesen et al (2004) sugieren que el entrenamiento prolongado de la MT puede mejorar la capacidad de procesamiento, que es necesaria para un rendimiento de alto nivel sobre una batería de pruebas neuropsicológicas.

Olesen et al (2004) y Klingberg et al (2002) utilizaron entrenamiento de adaptación (tareas en las que la dificultad se ajusta de acuerdo con el desempeño individual) en una escala de tiempo más larga. Los aumentos en la actividad neural reportados por Olesen pueden reflejar este aumento continuo de la dificultad de la tarea, la gran cantidad de entrenamiento realizado en relación con otros estudios, y/o los detalles de la tarea. Un amplio entrenamiento por sí solo no es probable que sea responsable del

aumento. A las cuatro semanas, Hempel et al (2004) reportaron disminuciones en el entrenamiento en tareas *n*-atrás, mientras que Karni et al (1995) reportaron incrementos en la actividad en el rendimiento secuencial de oposición de dedos. Los aumentos son consistentes con otros estudios de aprendizaje de secuencias (Karni et al, 1995; Hazeltine, Grafton y Ivry, 1997; Honda et al, 1998), lo que sugiere una distinción entre la práctica en tareas motoras y las cognitivas.

La mayoría de los estudios revisados reportan una disminución de la activación de la memoria de trabajo con el aprendizaje de las tareas. En un estudio de tarea visuoespacial (Olesen et al, 2004) encontró incrementos relacionadas con la práctica con entrenamientos largos, sin embargo, a pesar de que la tarea es una tarea de memoria de trabajo, es también una tarea de secuencia (en la que los participantes tuvieron que realizar secuencias hacia adelante y hacia atrás), y la respuesta neural fue similar a los paradigmas de aprendizaje de secuencia. Esto sugiere una distinción entre las tareas motoras y cognitivas en las que la práctica de la tarea motora conduce a aumentos funcionales de la activación, mientras que la práctica de la tarea cognitiva conduce a disminución funcional.

Estos hallazgos contrastan con los reportados en el capítulo anterior con respecto a la activación regional cortical diferencial con los paradigmas clásicos con que se evalúa la función ejecutiva y la regulación metacognitiva, que entrañan entre otros respuestas motoras o el seguimiento de secuencias (por ej. la tarea de Stroop o los juicios FOK). Por el contrario, en estos estudios clásicos no se alcanza a observar la disminución de la activación con la tarea cognitiva pues por lo general los ensayos se restringen a sesiones únicas donde solamente se mide el desempeño inicial de los sujetos evaluados.

Efectos de la práctica sobre la tarea doble

Pocos estudios han investigado los efectos de la práctica sobre la actividad neuronal relacionada con la doble tarea (Erickson et al, 2005; Hill y Schneider, 2005). Erickson et al (2005) encontraron que el rendimiento inexperto en la tarea doble activó las mismas áreas que los componentes aislados de las tareas (discriminación de letra y color), pero en un grado mayor. Este estudio es consistente con los que no reportan procesamiento en regiones específicas prefrontales con la doble tarea (Adcock et al, 2000; Bunge et al, 2000). Después de un entrenamiento amplio de doble tarea y de tarea individual fuera del escáner, la mayoría de las regiones disminuyó su actividad a excepción de la corteza prefrontal dorsolateral. Un aumento en la actividad de la CPFdl izquierda se asoció con el paradigma

de tarea única mezclada (ensayos intercalados de tareas únicas con ensayos de tarea doble) en el rendimiento de los participantes que recibieron entrenamiento.

Se encontró actividad bi-lateral de la CPFdl para la condición de doble tarea. Estas áreas no estuvieron significativamente activas en la primera sesión. Erickson et al (2005) consideraron que el aumento en el entrenamiento pudo influir un cambio en el procesamiento, donde la CPFdl comienza a apoyar la coordinación de tareas como resultado del entrenamiento.

Hill y Schneider (2005) encontraron una disminución generalizada de la actividad como consecuencia del entrenamiento en una tarea doble de búsqueda visual de objeto-palabra y en una tarea doble de búsqueda de patrones visuales de letras. Estas disminuciones incluyeron áreas prefrontales, y no se encontró áreas con aumento de la actividad con el entrenamiento, lo que sugiere una eficiencia de procesamiento de rendimiento.

EL APRENDIZAJE Y LA TOMA DE DECISIONES

La toma de decisiones puede definirse como el proceso humano de elegir y actuar en un determinado momento, de manera que implique una libre elección razonada (Fuster, 2003). Se puede definir la toma de decisiones en una amplia variedad de situaciones, que van desde la opción de un simple acto, como el movimiento de un dedo de la mano, hasta la elección de acciones complejas, tales como el registrarse en un banco conveniente, o hacer compras en distintos lugares para que el ingreso mensual rinda al máximo.

El interés de la neurociencia cognitiva en el concepto de la toma de decisiones tuvo sus orígenes en los déficit presentados en los lóbulos frontales de pacientes con patología frontal que presentan desajustes en la conducta autorregulada y el afecto (Harlow, 1868).

En los últimos años se viene investigando con profusión en torno a los procesos implicados en la toma de decisiones que tienen que ver con el aprendizaje. La toma de decisiones en el contexto de aula puede definirse como la habilidad para seleccionar la conducta más adaptativa para el organismo de un

conjunto de posibles alternativas conductuales. Se trata, pues, de un complejo proceso en el que se hallan implicados distintos aspectos, incluyendo la consideración de los aspectos cognitivos de la situación de decisión, las contingencias de recompensa y castigo asociadas a cada una de las opciones, y las señales emocionales relacionadas con cada una de las posibles respuestas (Verdejo et al, 2004)

La toma de decisiones verídicas está basada en la identificación de la respuesta correcta, lo cual es intrínseco a la situación externa y es independiente del actor; mientras que la toma de decisiones centrada en el actor está guiada por las prioridades del sujeto, lo que quiere decir que son las preferencias individuales las que se relacionan con los parámetros de la situación externa. Cuando se habla de toma de decisiones se considera que quien decide posee conocimientos sobre la situación que requiere una decisión, sobre las distintas opciones de acción y sobre las consecuencias inmediatas y futuras de cada una de estas opciones.

A pesar de su importancia, es poco lo que se sabe sobre su sustrato neural y la relación directa que pueda tener con el aprendizaje y la metacognición.

LA CORTEZA PREFRONTAL ROSTRAL Y EL CONTROL COGNITIVO Y EMOCIONAL DURANTE LA TOMA DE DECISIONES

Uno de los enigmas más fascinantes de la neurociencia cognitiva se refiere a las funciones de una gran área del cerebro conocida como corteza prefrontal rostral (CPFr o Área 10 de Broadman – BA10). Esta es una importante región del cerebro, que es especialmente grande en los seres humanos en comparación con otros animales, sin embargo, se sabe muy poco acerca del papel que desempeña en el control cognitivo y emocional (Burgess et al, 2005).

Hay varias razones para creer que las funciones de la corteza prefrontal rostral (también conocida como corteza prefrontal anterior, polo frontal, corteza frontopolar, o BA10) pueden ser particularmente relevantes para la educación. En primer lugar, esta es una región visiblemente grande en el cerebro humano. No sólo en términos de volumen absoluto, sino también en términos de tamaño en relación con el resto del cerebro, se ha estimado que la corteza prefrontal rostral es más de dos veces más grande en el cerebro humano que en el de otros primates (Semendeferi et al., 2001). Esta es

probablemente la región citoarquitectónica más grande dentro de los lóbulos frontales humanos (Christoff et al, 2001). Por lo tanto, parece probable que esta región del cerebro desempeñe un papel importante en la cognición humana. En segundo lugar, y de particular relevancia para la educación, la corteza prefrontal rostral es una de las regiones del cerebro humano que madura más lentamente durante el desarrollo (Dumontheil et al, 2008). Es una de las últimas regiones del cerebro en lograr la mielinización (Fuster, 2003; Semendeferi et al, 2001). Por otra parte, los estudios de imagen revelan cambios tanto estructurales (Sowell et al, 1999) como funcionales (Blakemore et al, 2007) en esta región a través de la niñez, la adolescencia y en la edad adulta (Dumontheil et al, 2008). Estas son todas buenas razones para imaginar que la CPFr puede soportar los procesos cognitivos que se atribuyen solamente a los seres humanos.

Sin embargo, se sabe muy poco acerca de las funciones de la CPFr. Hay muchas razones para esta situación: los estudios de esta región en animales son problemáticas, el hecho mismo de la diferencia estructural entre los seres humanos y otros animales crea dudas en cuanto a la transferibilidad de los resultados de una especie a otra. Así, prácticamente la única evidencia significativa de que se podría disponer a parte de los métodos de imagen funcional proviene de los estudios de lesiones humanas. En este contexto, no es sorprendente que la mayoría de los datos relevantes de la función de la CPFr provengan de la neuroimagen funcional. La activación de la CPFr se encuentra en una amplia variedad de tareas y esto ofrece relativamente pocas restricciones sobre la teorización. Los cambios hemodinámicos locales (flujo de sangre, oxigenación de la sangre) se producen en el Área 10 durante la realización de una gran variedad de tareas cognitivas (Grady, 1999), desde los más simples (por ejemplo, los paradigmas del condicionamiento; Blaxton et al, 1996) a las pruebas de alta complejidad que involucran la memoria y el juicio (Burgess et al, 2001; Burgess et al, 2003; Frith y Frith, 2003; Koechlin et al, 1999) o la resolución de problemas (Christoff et al, 2001).

De hecho, uno puede encontrar la activación de la corteza prefrontal rostral en casi cualquier tipo de tarea, por ejemplo, la recuperación episódica verbal (Rugg et al, 1996; Tulving et al, 1996), la recuperación episódica no verbal (Haxby et al, 1996), la memoria semántica (Jennings et al, 1997), el lenguaje (Klein et al, 1995), el aprendizaje motor (Jenkins et al, 1994), el aprendizaje de reglas (Strange et al, 2001), el condicionamiento por choques/tono (Hugdahl et al, 1995); la memoria de trabajo no verbal (Gold et al, 1996), la memoria de trabajo verbal (Petrides et al, 1993), la memoria espacial (Burgess et al, 2001), la percepción auditiva (Zatorre et al, 1996), el procesamiento de objetos (Kosslyn et al, 1995), la prueba de la Torre de Londres (Baker et al, 1996); el Wisconsin Card Sorting Test (Berman et al, 1995); tareas de razonamiento (Goel et al, 1997), las pruebas de inteligencia como las Matrices Progresivas de Raven (Prabhakaran et al, 1997).

Con base en lo anterior, podría hipotetizarse que la CPFr es un área de integración cognitiva que no solamente está activada con tareas cognitivas complejas, sino también durante la ejecución de tareas cognitivas simples. Y no solamente en tareas cognitivas se encuentra una amplia activación de esta región, esta área está especialmente activa en tareas que requieren control emocional para llevarse a cabo.

La representación cortical de la anticipación de las consecuencias de las acciones

Una de las hipótesis más difundidas sobre el posible funcionamiento de esta área fue planteada por Damasio (1991). La hipótesis del marcador somático fue descrita por Damasio y Bechara (1994) y surgió como una forma de explicar la implicación de algunas regiones de la corteza prefrontal rostral en el proceso de razonamiento y la toma de decisiones. Esta hipótesis se desarrolló al querer dar respuesta a una serie de observaciones clínicas en pacientes neurológicos afectados de daño frontal focal, especialmente en lesiones de la corteza prefrontal ventromedial (CPFVM). Las alteraciones de este grupo de pacientes no se pudieron explicar en términos de defectos en el razonamiento, la inteligencia, el lenguaje, la memoria o la atención básica (Bechara y Damasio, 2005). Sus problemas se presentaban en el funcionamiento cotidiano, consumando juicios inadecuados así como graves dificultades en el dominio personal y social.

La HMS es entonces una teoría que trata de explicar el papel de las emociones en el razonamiento para la toma de decisiones. Las observaciones de Damasio señalaban que pacientes con daño cerebral adquirido en la corteza prefrontal ventromedial realizaban adecuadamente los tests neuropsicológicos de laboratorio de las funciones ejecutivas básicas, pero tenían afectada su capacidad para expresar emociones y para funcionar en la vida cotidiana, al menos en el modo previo a la lesión (Damasio, 1994). Si el daño en la CPFVM era bilateral, se observaban dificultades para planificar las actividades del día y en la elección de las amistades, los amigos y la pareja. Las consecuencias de sus elecciones se traducían en deterioros en distintos órdenes: de familiares y amigos, del trabajo y el dinero, de la vida social entre otras.

Según Bechara (2005), la razón de las pérdidas y de los fallos de las personas con lesiones prefrontales, provienen de una serie de alteraciones en los mecanismos emocionales que señalan de

forma inmediata las consecuencias prospectivas de una acción y que asisten en la selección de respuestas ventajosas. Desprovistos de esta señal emocional, los pacientes dependen únicamente del análisis racional de costo-beneficio de las opciones, que involucran consecuencias inmediatas y futuras, privándose así del factor emocional. Para los mismos autores, las emociones se definen como una serie de cambios en los estados del cuerpo y del cerebro, accionados por circuitos cerebrales que responden a contenidos específicos perceptivos, actuales o recordados, relativo a eventos u objetos (Bechara y Damasio, 2005).

Esta hipótesis encuentra su comprobación en sujetos normales con el paradigma experimental llamado la "tarea de Iowa de los juegos de azar" (*Iowa Gambling Task*). En esta tarea, los participantes deben sacar una muestra de cuatro mazos de cartas donde cada carta gana o pierde dinero. Sin saberlo los participantes, dos mazos son desventajosos y revelan altas recompensas y castigos ocasionales altos, mientras que los otros dos mazos son ventajosos y revelan bajas recompensas y no dan sanciones. La tarea de los participantes es ganar tanto dinero como sea posible. Por lo tanto, los participantes tienen que formular un plan de acción que sea ventajoso a largo plazo, lo que significa renunciar a una alta recompensa en favor de una alta rentabilidad al final de la sesión experimental. Los participantes sanos inicialmente eligen mazos de alta recompensa, pero después sesgan sus elecciones a los mazos de baja remuneración. En un principio, este cambio en el comportamiento no puede ser conscientemente justificado, y los participantes reportan que basaron sus opciones en una sensación "instintiva" hasta que las sanciones llegan a ser aparentes. Se ha sugerido que este sentimiento de lo que es correcto se ve reflejado en la actividad de respuesta anticipada de la conductancia de la piel en respuesta a un resultado factible de la acción (Bechara et al, 2000). Damasio (1994) expone que las relaciones entre los hechos de una situación y las emociones con las que previamente fueron asociadas, sirven para influir en la toma de decisiones, alejándolas de consecuencias futuras de castigo y orientándolas a aspectos positivos. Razón por lo cual una baja ejecución en este instrumento manifiesta "una insensibilidad a futuras consecuencias" (Bechara y Damasio, 2002).

Sin embargo, la evidencia de la aplicación de esta hipótesis en otros paradigmas más cercanos al contexto educativo aún es dudosa, por lo que se requieren más estudios para comprobar su utilidad en el aprendizaje escolar.

Efecto de las pruebas de control emocional sobre las FE

Diversos estudios neuropsicológicos han demostrado que el rendimiento en tareas de toma de decisiones (Damasio 1990, 1991, 1994, 1995, 1998) (básicamente en la *Iowa Gambling Task*) no se correlaciona con la ejecución en pruebas en las que se hallan implicados los procesos ejecutivos descritos en el capítulo anterior.

Así mismo, las lesiones en la CPFr no influyen en la ejecución de test ejecutivos clásicos como el WCST, test de Stroop, fluidez verbal o torre de Londres (Goel et al, 1997; Goel y Grafman, 2000) y, sin embargo, lesiones en esta subregión provocan gran afectación en tareas que requieren conducta autoorganizada con una solución abierta a distintas posibilidades u otras situaciones poco estructuradas en las que existen varios cursos de acción posibles y se ha de elegir cuál conduce a la respuesta correcta. La segunda clase de situaciones que se ven afectadas con las lesiones prefrontales rostrales son aquellas en las que la atención debe sostenerse y automantenerse (Tirapu-Ustárroz et al, 2008).

NUEVAS PERSPECTIVAS DE LA DINAMICA CEREBRAL DURANTE EL APRENDIZAJE Y EL CONTROL EMOCIONAL

El desarrollo y la ejecución de las habilidades tiene efectos profundos sobre la naturaleza del procesamiento cerebral. El cerebro es una estructura plástica que puede cambiar la cantidad de área y la actividad de áreas en función del entrenamiento, el esfuerzo, y la estrategia. Hay cientos de áreas especializadas del cerebro. El entrenamiento tiene efectos diferenciales sobre las áreas de control de dominio general y en las áreas de representación de dominio específico

La naturaleza específica de las áreas de representación sugiere que el entrenamiento y el rendimiento serán sensibles a la estrategia y a la naturaleza del entrenamiento. Lo que se aprende se basa en cuales áreas de representación están activas durante el entrenamiento. Por lo general, a medida que se desarrolla la práctica, la actividad disminuye, y hay zonas raramente nuevas que se desarrollan en estudios de laboratorio sobre la adquisición de habilidades. Esto sugiere que el entrenamiento produce cambios locales en las áreas específicas de representación que apoyan el desempeño cualificado. En los estudios de entrenamiento extenso, existe una amplia evidencia de cambios en el procesamiento cognitivo, así como cambios estructurales en el sistema nervioso.

La CPFr es probablemente la región del cerebro cuya función es menos entendida, aunque hay buenas razones para sospechar que desempeña un papel fundamental en la cognición humana. La comprensión de los cambios que se producen en esta región, por lo tanto, puede contribuir a soportar desde el ámbito de la neurociencia cognitiva una nueva teoría de funcionamiento cognitivo que esté más cercana a la realidad

En situaciones de contexto académico o social, donde no hay reglas simples (sobre las contingencias de recompensa), sino al contrario, un número enorme de señales contextuales, es determinante poder discriminar adecuadamente qué información es relevante en un momento determinado, y parece que las señales cognitivas controladas por la CPFr juegan un papel vital en juzgar convenientemente estas señales.

CAPÍTULO V

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL META-ANÁLISIS A ESTUDIOS DE NEUROIMAGENES PARA LA OBTENCIÓN DE LA MEJOR EVIDENCIA DISPONIBLE SOBRE EL FUNCIONAMIENTO CEREBRAL DURANTE EL APRENDIZAJE DE TAREAS COMPLEJAS

META-ANÁLISIS DE ESTUDIOS DE NEUROIMAGENES

Como el objetivo principal de este trabajo es establecer las posibles interrelaciones teóricas entre los constructos de metacognición y aprendizaje de tareas complejas, desde el punto de vista de la neurociencia cognitiva, este meta-análisis está dirigido a encontrar la mejor evidencia disponible en estudios neurocientíficos que hayan estudiado el desempeño de sujetos normales en tareas de aprendizaje en un contexto muy similar al que pueda encontrarse en el aula de clases, con el propósito de evidenciar el funcionamiento cerebral durante el aprendizaje.

La información técnica de los artículos incluidos en este meta-análisis se analizó utilizando los software BrainMap Sleuth 2.0 (figura 5.1) y BrainMap GingerALE 2.1 (figura 5.2), de acceso gratuito. Estos software son bastante fáciles de usar, poseen interfases amigables y pueden ayudar a la comprensión de la función cerebral durante el aprendizaje.

Figuras 5.1 y 5.2. Los software BrainMap Sleuth 2.0 (derecha) y BrainMap GingerALE (izquierda) permiten localizar y analizar estudios neuroimagenológicos.



Los estudios que examinaron los efectos del aprendizaje, el entrenamiento, o la práctica sobre la activación hemodinámica del cerebro, que se determinó en los estudios individuales mediante la tomografía por emisión de positrones (PET) o la Resonancia Nuclear Magnética funcional (RMNf) se reunieron mediante una búsqueda electrónica utilizando una base de datos disponible de forma gratuita en BrainMap.org (la cual aloja más de 2000 artículos sobre el uso de estas técnicas convergentes) accesible a través de BrainMap Sleuth 2.0. Las búsquedas incluyeron los estudios publicados entre 1998 y 2008.

Se utilizaron adicionalmente estos criterios de inclusión:

En primer lugar, se requería que cada experimento presentado al meta-análisis implicara un contraste entre el desempeño inicial de una tarea y el desempeño de la misma tarea después de por lo menos 10 minutos de práctica (una práctica más limitada es poco probable que afecte sustancialmente la demanda de recursos cognitivos).

En segundo lugar, los experimentos con asignaciones tipo condicionamiento clásico explícitamente fueron excluidos.

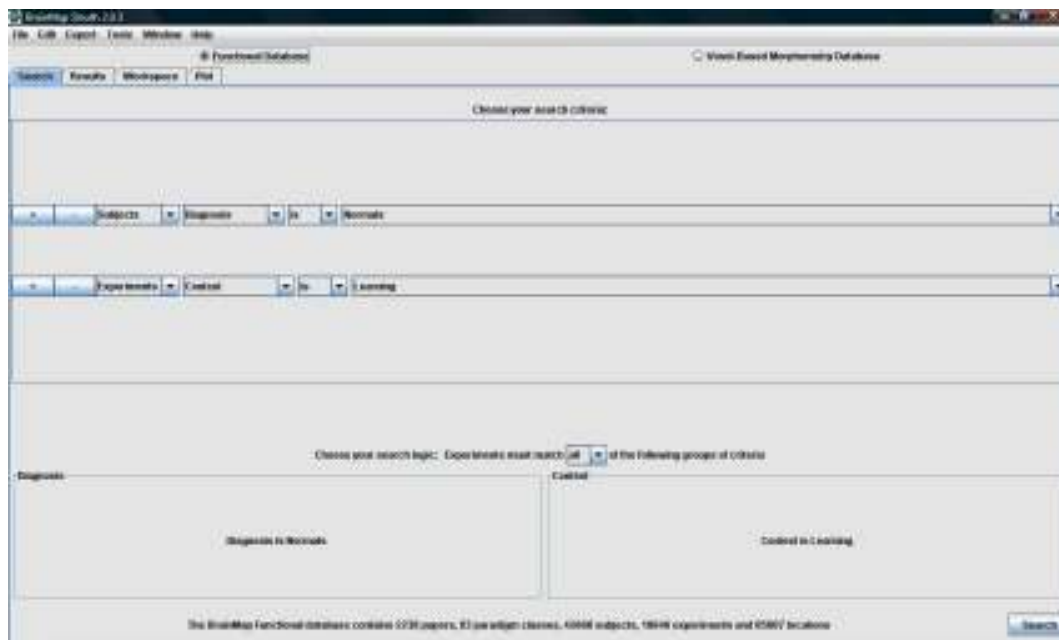
En tercer lugar, sólo los experimentos en que los sujetos hicieron un intento explícito de adquirir nueva información o habilidad se incluyeron dado que las condiciones implícitas de aprendizaje podrían no comprometer mecanismos de control.

En cuarto lugar, el conjunto de estudios fue limitado aún más a los que utilizaran únicamente poblaciones de sujetos adultos sanos.

En quinto lugar, se excluyeron los estudios que utilizaran exclusivamente tareas de aprendizaje motor o que usaran tareas diseñadas para una función ejecutiva de manera individual (por ejemplo, estudios que solamente utilizaran pruebas tipo Stroop o el Wisconsin Card Sorting Test), pues las áreas cerebrales que se activan durante la ejecución de estos paradigmas es bastante clara (a partir de la revisión sistemática de la literatura existente hecha en el capítulo tres) y lo que se pretendió con esta parte del estudio fue establecer la activación cerebral durante tareas de aprendizaje que se asemejaran más al rico ambiente de estimulación que puede recibir un estudiante en un aula de clases.

Por último, la inclusión en el meta-análisis requirió que se presentara una cantidad suficiente de imágenes y se reportaran las activaciones en términos de las áreas de broadman (BA) y la significancia de su activación.

Figura 5.3. Criterios de búsqueda iniciales utilizando el software BrainMapSleuth.



Se seleccionaron inicialmente 40 estudios que correspondieron con los criterios de búsqueda de sujetos normales + aprendizaje (figura 5.3) en BrainMapSleuth, de estos, se excluyeron 5 porque fueron publicados antes de 1998; de los 35 restantes, se excluyeron 9 por las siguientes razones:

- a) uno estudió un paradigma de condicionamiento clásico
- b) en cuatro se estudió solamente el aprendizaje motor puro
- c) dos evaluaron la comprensión/apreciación musical
- d) uno evaluó la discriminación del dolor en los sujetos participantes y
- e) uno estudio a pacientes normales pero con personalidad ansiosa

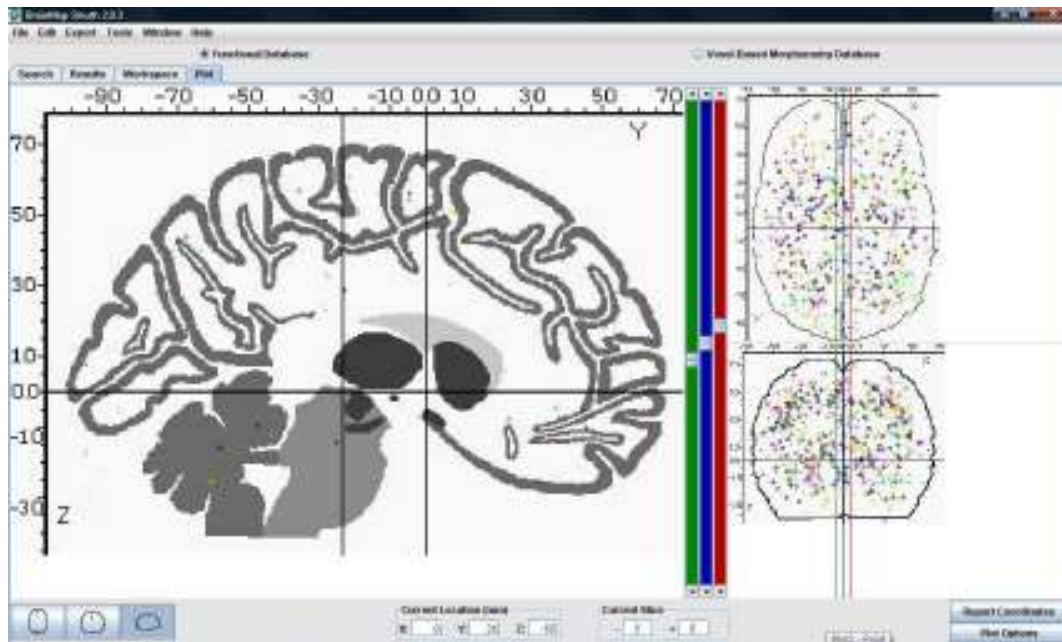
Finalmente se incluyeron 26 artículos en el meta-análisis de sus neuroimágenes (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Se muestran los artículos seleccionados ordenados por año, también aparece su primer autor y la revista de publicación. Los hallazgos de estos artículos fueron sometidos a un meta-análisis.

Numero	Año	Primer Autor	Revista
1	1998	Poldrack R A	Cerebral Cortex
2	1998	Grafton S T	Journal of Neuroscience
3	1998	Grady C L	Proceedings of the National Academy of Sciences
4	1999	Poldrack R A	Neuropsychology
5	1999	McIntosh A R	Science
6	2000	Brunia C H M	Experimental Brain Research
7	2000	Houde O	Journal of Cognitive Neuroscience
8	2000	Frutiger S A	NeuroImage
9	2000	Kawashima R	NeuroImage
10	2001	Poldrack R A	Brain
11	2001	Schiltz C	Cortex
12	2001	Grafton S T	Journal of Cognitive Neuroscience
13	2001	Fletcher P C	Nature Neuroscience
14	2001	Houde O	NeuroImage
15	2003	Beauchamp M H	NeuroImage
16	2004	van der Graaf F H C E	Cognitive Brain Research
17	2005	Dunbar K N	Cognitive Brain Research
18	2005	Parsons M W	Human Brain Mapping
19	2005	Poldrack R A	Journal of Neuroscience
20	2005	Remijnse P L	NeuroImage
21	2005	Lacourse M G	NeuroImage
22	2005	Fugelsang J A	Neuropsychologia
23	2005	Reiss J P	Neuroreport
24	2006	Mochizuki-Kawai H	Brain Research
25	2006	Sacco K	NeuroImage
26	2006	Ischebeck A	NeuroImage

El programa BrainMapSleuth permite visualizar las áreas cerebrales que se activaron durante cada uno de los paradigmas aplicados en los diversos estudios como una nube de puntos codificados por color sobre una matriz cerebral estandarizada (figura 5.4). Estos puntos representan áreas corticales específicas cuya actividad cambia durante el curso del aprendizaje.

Figura 5.4. Los puntos representan las áreas de activación cortical que se encontraron en cada uno de los artículos seleccionados para el meta-análisis.



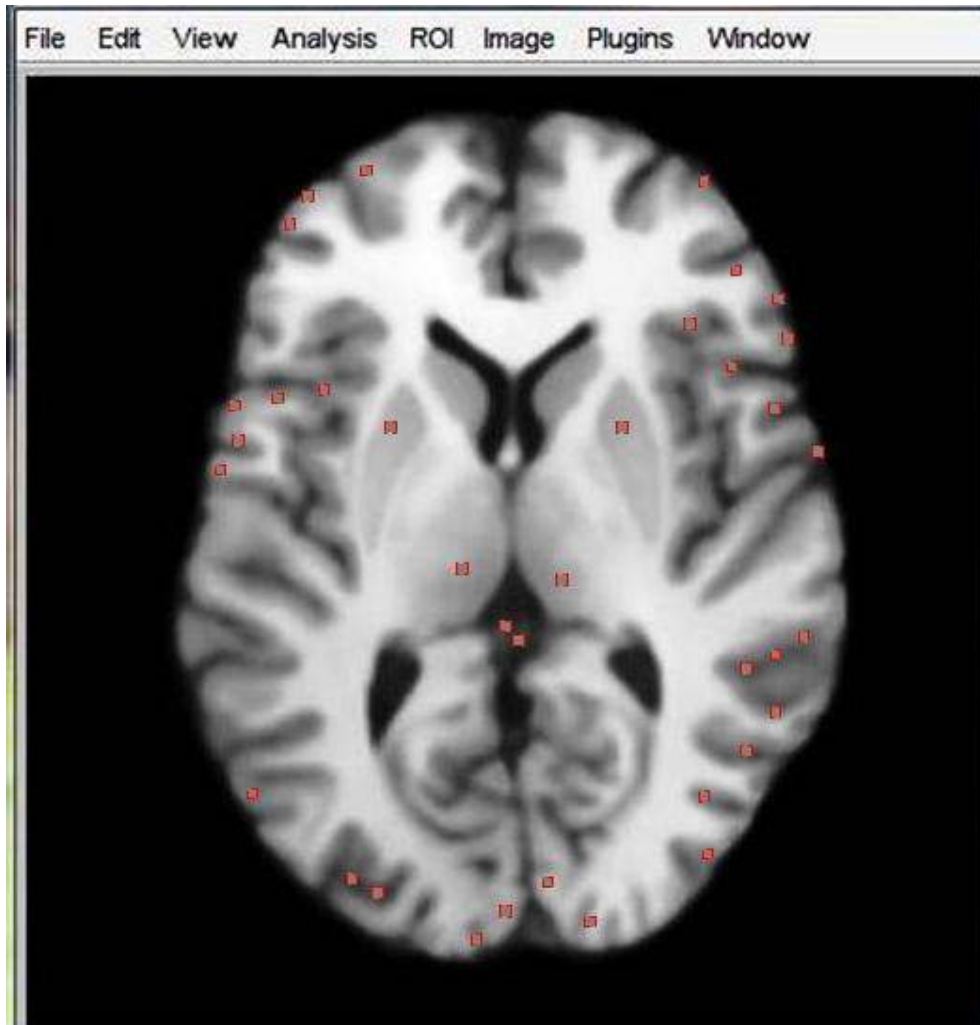
El programa convierte estas áreas en coordenadas que fueron luego analizadas utilizando el programa BrainMap GingerALE (figura 5.5), el cual se programó para identificar las áreas que se activaron significativamente ($p < 0,05$) a través de todos los artículos.

Figura 5.5. El programa BrainMap GingerALE convierte en coordenadas de activación las áreas cerebrales identificadas en los estudios seleccionados con el programa BrainMap Sleuth y permite determinar con un error alfa menor al 0.05% cuales se activaron significativamente a través de todos los estudios.



Los resultados de los cálculos hechos con el programa BrainMap GingerALE se visualizan luego con el programa Mango (del inglés Multi-image Analysis GUI). Este programa permite manipular los meta-datos sobre una matriz cerebral estandarizada de acuerdo con los parámetros de momento y fuerza de activación (figura 5.6).

Figura 5.6. El programa Mango permite la manipulación de los meta-datos generados por el programa BrainMap GingerALE sobre una matriz cerebral estandarizada.



Resultados del meta-análisis de las neuroimágenes del aprendizaje en tareas complejas

El uso del programa Mango permitió establecer los patrones de activación cerebral que se utilizaron para la construcción del modelo que se presenta en el capítulo seis de este trabajo, así como para corroborar su validez interna.

Actividad dependiente del proceso de aprendizaje

Para determinar el efecto del proceso de aprendizaje sobre la actividad cerebral, se realizó un primer análisis utilizando sólo los datos de la fase de prueba y se ignoraron los datos del periodo de

codificación. Un análisis de cada coordenada con el nivel de práctica (no practicado, practicado) y el tipo de material (verbal, no verbal) así como los factores dentro de los sujetos se realizó primero para identificar las regiones sensibles a la manipulación. Para la caracterización de los efectos concretos del aprendizaje sobre la actividad regional, las coordenadas que mostraron un efecto principal de la práctica o de la práctica por una interacción con el material se probaron adicionalmente en contrastes planeados que compararon la señal de las imágenes recogidas por pares inexpertos con la recogida por pares practicados. Estos contrastes se realizaron de forma independiente para cada tipo de material, lo que permitió la determinación de si cambios dependientes de la práctica estadísticamente significativos estaban presentes para ambos tipos de materiales, para un tipo de material, o para ninguno de los tipos de material.

El meta-análisis mostró muchas regiones que exhibieron dependencia de la práctica. Muchas de estas regiones mostraron una disminución de la actividad en el transcurso de la práctica (es decir, tuvieron una actividad significativamente mayor durante la ejecución con los estímulos no practicados en comparación con los estímulos practicados). De hecho, el efecto predominante de la práctica que se observó fue una disminución en la actividad, con las reducciones representando más del 99% de las coordenadas que sobrepasaron el umbral de significancia para cada tipo de material.

Generalidad de Dominio

Mientras que se observaron en los datos regiones que mostraron sensibilidad a un tipo de material dado (áreas específicos de dominio), se trataron de identificar regiones que presentaran una actividad consistente con una función de dominio general en el procesamiento.

Se encontró que varias regiones que mostraron efectos dependientes de la práctica con un tipo de material tuvieron un equivalente directo en la prueba de dependencia de la práctica producido con el otro tipo de material. Las regiones superpuestas que mostraron disminución relacionada con la práctica incluyeron las regiones frontal medial, frontal inferior izquierda, frontal medial bilateral, insular anterior izquierda, parietal bilateral/intraparietal, parietal medial, fusiforme bilateral, y occipital inferior derecho. Agrupaciones decrecientes no solapadas pero espacialmente contiguas se encontraron también en el tálamo. Sólo una pequeña región, que se encontró en la línea media posterior (precuneus/cingulada posterior), exhibió un aumento de la superposición con la práctica.

Actividad dependiente de la tarea

Otra serie de análisis se utilizó para identificar todas las regiones del cerebro que produjeron activación asociada con la ejecución. Se realizaron pruebas t independientes basadas en coordenadas comparando cada tipo de material (verbal, no verbal) en cada nivel de práctica (no practicado, practicado) en la condición control. Estos cuatro contrastes revelaron todas las regiones que participaron en la tarea y mostró que el desempeño cuando se ha practicado no involucra la activación de nuevas regiones, sino que activa un subconjunto de las áreas activadas por el aprendizaje temprano. Para los fines de esta evaluación, una región nuevamente emergente se definió operacionalmente como una activación pico que cayera fuera de cualquier grupo previamente activado, aún excediendo los criterios estadísticos. No se encontraron tales activaciones pico en los datos practicadas y en su lugar se encontró que las parejas practicadas suscitaron actividad dentro de la misma red de regiones cerebrales que los pares no practicados, con estos últimos produciendo generalmente actividad más grande y de mayor magnitud regional. Este patrón se mantuvo incluso en el limitado conjunto de regiones donde los aumentos relacionados con las prácticas fueron observados, con estas regiones mostrando activaciones estadísticamente significativas, tanto antes como después de la práctica.

Actividad dependiente de la toma de decisiones

Para probar la participación del control emocional durante tareas de aprendizaje se analizaron por separado los trabajos que administraron tareas que podrían ser llevadas a cabo o bien poniendo atención a los estímulos que se presentan en una pantalla de visualización (lo que requiere atención orientada al estímulo) o mediante la realización de las mismas tareas solamente "en la cabeza" (es decir, independientemente del estímulo). Los tipos de tareas administradas requirieron que los participantes:

- a) o bien apretaran un botón de respuesta sincronizándose con un reloj presentado visualmente, o ignoraran la presentación visual (que en ese momento representaba información de distracción) y continuaran apretando el botón al mismo ritmo que antes,

- b) ya sea navegaran alrededor del borde de una forma presentada visualmente o imaginaran la misma forma y continuar navegando como antes,
- c) o clasificaran las letras del alfabeto, que siguen una secuencia regular, de acuerdo a si estaban hechas de líneas rectas o curvas, o bien clasificaran las letras presentadas visualmente o continuaran mentalmente la secuencia y clasificaran las letras que se generaban internamente.

Estas tres tareas alternaban entre fases donde los participantes atendieron a información perceptiva disponible y a fases en las que hicieron caso omiso de esta información y debían atender en su lugar a información auto-generada. La fase apropiada (orientada al estímulo o independiente del estímulo) fue desencadenada por la presentación visual de los estímulos.

De manera consistente, a través de las tres tareas, la corteza prefrontal rostral medial exhibió actividad sostenida que difirió entre las dos fases, en los tres casos, mostrando una mayor actividad cuando los participantes atendían a la información perceptual. Por el contrario, la corteza prefrontal rostral lateral derecha (y adicionalmente la corteza prefrontal rostral lateral izquierda) exhibieron actividad transitoria cuando los participantes cambiaban entre estas fases, independientemente de la dirección del cambio.

A continuación se detalla el proceso de la generación de teoría fundamentada en los datos de los artículos seleccionados para el meta-análisis.

APLICACIÓN DEL PROCESO (MÉTODO) DE LA TEORÍA FUNDAMENTADA PARA LA CODIFICACIÓN, GENERACIÓN DE CATEGORÍAS Y SUPERCATEGORÍAS A PARTIR DE LOS DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Una vez realizado el meta-análisis de los resultados de neuroimágenes de los artículos seleccionados, se procedió a descargarlos en texto completo utilizando las bases de datos de acceso restringido SCIEDIRECT y EBSCO-HOST. Se pudo obtener el texto completo de 24 artículos, los cuales se emplearon como datos primarios en el proceso descrito en la sección de metodología de la teoría fundamentada para obtener los casos y la codificación iniciales.

Tomando como datos primarios los mejores trabajos de neuroimágenes que evaluaron el funcionamiento cerebral y el control emocional durante el desempeño de tareas complejas de aprendizaje, se aplicó el método de la teoría fundamentada para la codificación y categorización de los hallazgos más relevantes.

Generación de códigos, categorías y supercategorías sobre el funcionamiento cerebral y el control emocional durante la realización de tareas complejas de aprendizaje

Los datos se codificaron manualmente. Cada artículo se revisó por separado y se subrayaron los resultados más sobresalientes (figura 5.7). Se utilizó el método comparativo constante para llegar a la saturación de las categorías; en esta fase se tuvo en cuenta la literatura relacionada en el área de la neurociencia cognitiva para monitorear la congruencia de los planteamientos surgidos a partir de las categorías con los conceptos clásicos de la neuroanatomía y la neurofisiología.

Figura 5.7. La sección de resultados de cada artículo fue extraída y se destacaron las proposiciones hechas por sus autores. Cada proposición completa fue extraída como un código, traducida y agregada manualmente al listado de códigos. En esta figura se muestra como de un mismo párrafo se extrajeron cuatro códigos.

Dual-task effects

Comparisons of single-task versus dual-task performance (averaged across sequence and random blocks) are presented in Figure 5 and Table 2. Activity during dual-task performance was compared with single-task performance separately in each session. In the pretraining session, an extensive set of regions were more active during dual-task compared with single-task performance, including bilateral auditory cortices, bilateral lateral premotor cortex, pre-SMA, and right caudate body. In the posttraining session, the only regions showing significantly more activity for dual- versus single-task conditions were bilateral auditory cortices. Direct comparison of dual-task activation between pretraining and posttraining sessions identified decreases in right lateral (inferior/middle) prefrontal, premotor, and bilateral parietal cortex, as well as the cerebellum (Fig. 6). Additional analyses

①

②

③

④

Los códigos extraídos inicialmente reflejan la realidad de los datos, es decir, se extrajeron de un modo casi literal al como fueron planteados por sus autores:

1. El aprendizaje es localizado y muy especializado
2. Se presenta un cambio dinámico en el cerebro con la tarea
3. Partes diferentes del cerebro muestran cambio de ubicación de su actividad dependiendo de la tarea
4. Existe una co-localización cortical del aprendizaje y el procesamiento
5. El aprendizaje produce aumentos en las áreas de activación
6. El aprendizaje produce disminuciones en las áreas de activación

7. El aprendizaje influye en la riqueza de la representación
8. El aprendizaje influye en la eficacia del procesamiento
9. Hay una reorganización de la corteza durante el aprendizaje
10. La reorganización de la corteza involucra a diferentes regiones del cerebro cuando se utilizan estrategias alternativas
11. Cambiar de realizar un algoritmo matemático a usar un recuerdo para producir una respuesta parece producir reorganización cortical
12. El aprendizaje produce alteraciones morfológicas detectables
13. El entrenamiento en una tarea particular amplía la cantidad de materia gris dedicado a procesar el tipo de información que ha sido entrenado.
14. Existe una diferenciación entre la función de la CPFdl y la CPFr en el aprendizaje
15. La práctica provoca reducciones generalizadas en la actividad regional
16. Las reducciones generalizadas en la actividad regional se dan mediante la reducción de la carga sobre los mecanismos de control
17. Los mecanismos de control cognitivo estructuran el aprendizaje temprano
18. Los mecanismos de control son de dominio general
19. Los mecanismos de control se aplican a muchos tipos de tareas

20. No emerge una vía de procesamiento separada cuando se desarrolla una habilidad
21. Un efecto principal de la práctica fue una reducción en el alcance de la actividad en una red cortical
22. Un efecto principal de la práctica fue una reducción en la magnitud de la actividad en una red cortical
23. Se evidencia una red cortical que abarca las áreas prefrontal dorsal bilateral, prefrontal ventral izquierda (cingulada anterior), frontal medial, izquierda insular, parietal bilateral, y occipito-temporales (fusiforme)
24. Las áreas prefrontal dorsal bilateral, prefrontal ventral izquierda (cingulada anterior), frontal medial, izquierda insular, parietal bilateral, y occipito-temporales (fusiforme) forman una red cortical durante el aprendizaje
25. Las reducciones de actividad se producen en regiones comunes
26. Las reducciones de actividad se producen para tareas de aprendizaje verbal
27. Las reducciones de actividad se producen para tareas de aprendizaje no verbal
28. Las reducciones de actividad se producen en varios experimentos de RMNf
29. Las reducciones de actividad se producen en varios experimentos de RMNf
30. Las reducciones de actividad se producen en varios experimentos de PET

31. No existen diferencias en las áreas corticales que se activan con respecto al desempeño inexperto con el experto en diversas tareas cognitivas
32. La red de regiones cerebrales representa un sistema de dominio
33. La red de regiones cerebrales apoyan el rendimiento en tareas nuevas que se perciben como importantes para ser aprendidas, pero no cuando se tiene practica
34. La red de regiones cerebrales no apoyan el rendimiento cuando se tiene practica
35. Hay conexiones recíprocas entre las regiones cerebrales
36. Las conexiones recíprocas entre las regiones cerebrales permite que el flujo de información sea de abajo hacia arriba (bottom-up)
37. Las conexiones recíprocas entre las regiones cerebrales permite que el flujo de información sea de arriba hacia abajo (top-down).
38. La información está codificada en el patrón de actividad
39. Cualquier región cortical codifica para muchos patrones y tipos de estímulos
40. El cerebro contiene un pequeño número de áreas de control de dominio general
41. Las áreas de control de dominio general parecen estar implicadas en muchas tareas
42. Las áreas de control de dominio general modulan la actividad cortical durante el aprendizaje
43. Existe un control atencional durante el aprendizaje de conceptos nuevos

44. La corteza parietal posterior (CPP) parece estar mediando el control atencional durante el aprendizaje de conceptos nuevos
45. Durante el aprendizaje inicial de una tarea es necesario el proceso de monitoreo
46. Durante el aprendizaje inicial de una tarea es necesaria la toma de decisiones
47. Durante el aprendizaje inicial de una tarea es necesario el manejo de conflictos
48. El monitoreo de procesos durante el aprendizaje inicial de una tarea parece estar bajo el control de la corteza cingulada anterior (CCA)
49. El monitoreo de procesos durante el aprendizaje inicial de una tarea parece estar bajo el control del área pre-motora suplementaria (ApMS)
50. La toma de decisiones durante el aprendizaje inicial de una tarea parece estar bajo el control de la corteza cingulada anterior (CCA)
51. La toma de decisiones durante el aprendizaje inicial de una tarea parece estar bajo el control del área pre-motora suplementaria (ApMS)
52. El manejo de conflictos durante el aprendizaje inicial de una tarea parece estar bajo el control de la corteza cingulada anterior (CCA)
53. El manejo de conflictos durante el aprendizaje inicial de una tarea parece estar bajo el control del área pre-motora suplementaria (ApMS)
54. Existe un área cortical prefrontal encargada del procesamiento de metas durante todo el desarrollo de la tarea hasta que está bien aprendida

55. Existe un área cortical prefrontal encargada de las tareas de conmutación durante todo el desarrollo de la tarea hasta que está bien aprendida
56. El procesamiento de metas durante todo el desarrollo de la tarea hasta que está bien aprendida parece estar a cargo de la corteza prefrontal dorsolateral (CPFdl)
57. Las tareas de conmutación durante todo el desarrollo de la tarea hasta que está bien aprendida parece estar a cargo de la corteza prefrontal dorsolateral (CPFdl)
58. Existe evidencia de procesamiento emocional durante el aprendizaje en condiciones neutras
59. El procesamiento emocional durante el aprendizaje en condiciones neutras parece estar a cargo de la amígdala
60. Durante todo el curso del aprendizaje de un nuevo concepto se requiere llevar a cabo codificación episódica constantemente
61. La codificación de asociación durante todo el curso del aprendizaje de un nuevo concepto parece estar a cargo del hipocampo
62. La codificación de asociación durante todo el curso del aprendizaje de un nuevo concepto parece estar a cargo del parahipocampo
63. El procesamiento secuencial de aprendizajes motores sencillos parece estar mediado por el cerebelo
64. El procesamiento secuencial de aprendizajes motores complejos parece estar mediado por el cerebelo
65. El procesamiento secuencial de aprendizajes motores son mediados por el cerebelo en sus fases de tarea aprendida

66. El refuerzo motor durante los estadios iniciales de tareas motoras parece estar a cargo de los ganglios basales
67. El control motor durante los estadios iniciales de tareas motoras parece estar a cargo de los ganglios basales
68. El refuerzo durante la practica de tareas motoras parece estar a cargo de los ganglios basales
69. El control motor durante la practica de tareas motoras parece estar a cargo de los ganglios basales
70. Las reducciones relacionadas con la práctica reflejan los cambios en la demanda hecha a los recursos cognitivos centrales
71. A medida que se alcanza el modo más eficaz de desempeño se presentan unas reducciones relacionadas con la práctica en la demanda hecha a los recursos cognitivos centrales
72. Existe un sistema de procesamiento controlado
73. El sistema de procesamiento controlado se caracteriza por un comportamiento lento, en serie y con esfuerzo
74. Un sistema de procesamiento controlado se encuentra en el desempeño inicial de la tarea
75. Existe un sistema de procesamiento representacional
76. El sistema de procesamiento representacional se caracteriza por un comportamiento rápido, paralelo y con bajo esfuerzo

77. Un sistema de procesamiento representacional se encuentra cuando se ha aprendido la tarea
78. Existe un sistema de procesamiento de nivel superior cognitivo
79. Existe un sistema de procesamiento de nivel superior emocional
80. Existe un sistema de procesamiento de nivel superior que permite la re-configuración de los circuitos cerebrales.
81. El sistema de procesamiento de nivel superior participa principalmente durante los estadios iniciales de ejecución de una tarea.
82. La activación del sistema de procesamiento de nivel superior casi desaparece cuando se ha aprendido una tarea.
83. El patrón de activación del sistema de procesamiento de nivel superior es diferente del patrón de activación del sistema de control
84. Las áreas que conforman el sistema de procesamiento de nivel superior es diferente de las que conforman el sistema de control
85. El sistema de control está estructurado a partir de un conjunto de centros dispersos a lo largo y ancho de la corteza
86. Estructuras subcorticales hacen parte del sistema de control
87. El sistema de control implementa la memoria de trabajo
88. El sistema de control implementa la selección atencional

89. El sistema de control implementa el monitoreo del desempeño
90. El sistema de control implementa mecanismos de adquisición de información
91. El sistema de control media el aprendizaje inicial
92. El sistema de control media la practica de lo aprendido
93. La actividad cerebral en las regiones de control disminuye con la práctica
94. Los recursos de control que proporciona el sistema de control son liberados con la practica
95. Las regiones de procesamiento de nivel superior son de dominio general
96. Las regiones de procesamiento de nivel superior son reclutadas para apoyar el desempeño inicial de la tarea
97. Las regiones de procesamiento de nivel superior son reclutadas independientemente del tipo de tarea que se aprende
98. Las regiones de procesamiento de nivel superior son reclutadas independientemente del tipo de material que se aprende
99. El desempeño en la tarea aprendida no involucra la activación de regiones nuevas.
100. El desempeño en la tarea aprendida activa un subconjunto de las áreas involucradas en el aprendizaje temprano.
101. El sistema de procesamiento de nivel superior es necesario para acelerar el cambio de estrategias cognitivas en la medida que se presentan obstáculos repetidos para el aprendizaje

102. Cuando se presentan obstáculos repetidos para el aprendizaje el sistema de procesamiento de nivel superior acelera el cambio de estrategias cognitivas
103. Durante la práctica de una tarea asignada se produjeron consistentemente beneficios comportamentales confiables
104. Durante la práctica de una tarea asignada se observaron reducciones concomitantes en la actividad regional
105. Cuando el sujeto no tiene intención explícita de aprender se activan el sistema de procesamiento de nivel superior y en menor medida el sistema de control, pero esta activación es menor comparada con la situación de aprendizaje intencional
106. Cuando el sujeto no tiene intención explícita de mejorar su rendimiento se activan el sistema de procesamiento de nivel superior y en menor medida el sistema de control, pero esta activación es menor comparada con la situación de aprendizaje intencional
107. Las disminuciones relacionadas con la práctica están presentes siempre que la duración de la práctica de la tarea sea lo suficientemente larga para desactivar casi completamente los recursos de control y de nivel superior
108. Existe una red de áreas corticales prefrontales anteriores que se activan ampliamente al inicio de una tarea, independientemente del tipo de tarea.
109. El efecto más consistente de la práctica es una reducción de la amplitud de la actividad cerebral regional relacionada con el desempeño de un gran número de tareas de aprendizaje
110. El efecto más consistente de la práctica es una reducción de la magnitud de la actividad cerebral regional relacionada con el desempeño de un gran número de tareas de aprendizaje

111. La práctica induce un desplazamiento anterior (frontal) hacia posterior en la anatomía funcional de la ejecución de tareas
112. Las regiones cerebrales posteriores muestran reducciones relacionadas con la práctica.
113. Algunas áreas frontales permanecen estando muy activas durante la práctica).
114. La región prefrontal ventral izquierda permanece estando muy activa durante la práctica con pares de palabras
115. Los recursos de control específicos que proporcionan las áreas frontales pueden ser desacoplados casi por completo después de la práctica
116. Las regiones posteriores median mecanismos de control importantes
117. Las áreas frontales proporcionan recursos de control específicos de dominio general
118. El control se distribuye ampliamente en la neocorteza
119. El control no parece ser una función estrictamente frontal
120. El rendimiento experto se acopla a un subconjunto de las regiones activadas durante la ejecución inicial y no parece tener su propia vía cortical.
121. El rendimiento experto no parece tener su propia vía cortical.
122. El rendimiento experto se basa en los mismos sustratos neurales que participan en la realización de tareas sin entrenamiento.

123. La misma red de regiones que se activan durante el aprendizaje asociativo temprano para los tipos de materiales verbales y no verbales, se desactivan más tarde en el desempeño de la tarea
124. Una vez que las asociaciones están bien aprendidas se desactivan las regiones de procesamiento de nivel superior
125. La activación de la CPFr se encuentra en una amplia variedad de tareas
126. Las pruebas de alta complejidad que involucran la memoria activan particularmente la corteza prefrontal
127. Las pruebas de alta complejidad que involucran la resolución de problemas activan particularmente la corteza prefrontal
128. Las pruebas de alta complejidad que involucran el juicio activan particularmente la corteza prefrontal
129. La activación común durante la recuperación episódica está altamente localizada, cayendo en o cerca del área 10 de Brodmann.
130. La CPFr soporta el procesamiento que consiste en reflexionar sobre los propios pensamientos
131. La CPFr soporta el procesamiento que consiste en pensar en un modo muy controlado
132. La CPFr soporta el procesamiento que consiste en pensar en un modo muy consciente
133. La CPFr soporta el procesamiento dirigido a una meta

134. La corteza prefrontal rostral es fundamental para el mantenimiento de la información asociativa sobre los resultados esperados en la memoria representacional
135. La información sobre los estados internos y las metas actuales se comparan e integran con la información asociativa sobre los resultados esperados en la memoria representacional para el desempeño de una tarea
136. La CPFr está crucialmente implicada en la integración de las señales emocionales en el proceso de toma de decisiones
137. El entrenamiento "breve" (durante 30 minutos) produce cambios en la activación cerebral posterior al aprendizaje.
138. El entrenamiento "prolongado" (varias semanas), produce cambios en la activación cerebral posterior al aprendizaje.
139. Los incrementos en la actividad neural reflejan la reconstrucción (remodelamiento) de las representaciones corticales
140. Las disminuciones en la actividad neural resultan de una desactivación a gran escala de un subconjunto de las neuronas iniciales de una región que ya no responden a un estímulo de aprendizaje particular
141. Un cambio en la localización de la actividad refleja una reorganización de las regiones utilizadas para apoyar el aprendizaje.
142. La reorganización puede reflejar un cambio en el procesamiento o el uso de la estrategia como resultado de la práctica.
143. El nivel de práctica influye en la dinámica de la activación cortical con el aprendizaje.

144. El período de formación de imágenes en proporción a la cantidad de práctica influye en la dinámica de la activación cortical con el aprendizaje.
145. El dominio de la tarea, y las características de las tareas, influyen en la dinámica de la activación cortical con el aprendizaje.
146. La mayoría de los experimentos que implicaron la práctica de tareas cognitivas reportan disminución relacionada con la práctica o la reorganización en regiones corticales que fueron similares entre los estudios.
147. La mayoría de los experimentos que implicaron la práctica de las tareas de aprendizaje motor tienden a mostrar incrementos relacionados con la práctica en regiones corticales que fueron similares entre los estudios.
148. La corteza prefrontal rostral (CPFr) se identifica como un favorecedor del sistema que balancea la influencia relativa de los pensamientos orientados por los estímulos vs. los independientes de estímulos
149. La corteza prefrontal rostral (CPFr) está consistentemente implicada en las tareas donde uno tiene que tener "algo en mente" mientras realiza otra acción
150. La corteza prefrontal rostral (CPFr) está consistentemente implicada en la tarea voluntaria de atender a otro estímulo después de un retraso.
151. La activación en las regiones rostrales de la CPF está relacionada con la percepción conciente de la dificultad de la tarea
152. La corteza prefrontal rostral soporta los procesos cognitivos independientes del estímulo
153. La corteza prefrontal rostral soporta los procesos cognitivos independientes del estímulo

154. La corteza prefrontal rostral en la orientación de los procesos cognitivos aparece funcionalmente dividida en región medial y lateral
155. Existe un sistema encargado del aprendizaje asociativo
156. El sistema encargado del aprendizaje asociativo moviliza recursos cognitivos muy lentamente
157. El sistema encargado del aprendizaje asociativo parece estar conformado por áreas primarias y secundarias de asociación cortical
158. El sistema encargado del aprendizaje asociativo parece estar conformado por regiones subcorticales como el hipocampo y el parahipocampo
159. Algunas regiones de los ganglios basales parecen hacer parte del sistema encargado del aprendizaje asociativo
160. El sistema encargado del aprendizaje asociativo almacena los recuerdos a través de la integración de la información sensorial, perceptual, motora, y las asociaciones multimodales
161. El sistema encargado del aprendizaje asociativo se compone de muchos miles de circuitos localizados, o módulos, que están ampliamente distribuidos en el cerebro
162. El sistema encargado del aprendizaje asociativo captura las regularidades y las contingencias de las tareas después de un periodo prolongado de entrenamiento
163. El nivel de activación del sistema encargado del aprendizaje asociativo es controlado por una red de regiones ubicadas a nivel cortical y subcortical

164. Los cambios que dependen de la experiencia en el sistema encargado del aprendizaje asociativo pueden ser difíciles de detectar
165. El sistema encargado del aprendizaje asociativo está activado para apoyar el desempeño en la tarea practicada y no practicada

La ordenación de estos códigos dio lugar a las siguientes categorías:

- I. Los incrementos relacionados con la práctica (es decir, los reportados como incrementados en relación con el rendimiento inicial en una tarea nueva y condiciones de control de nivel bajo) tienden a ocurrir en las cortezas de representación primaria y secundaria donde generalmente se da el aprendizaje asociativo (por ejemplo, las regiones visuales primarias, la corteza motora).
- II. Las disminuciones relacionadas con la práctica se observan principalmente en una red de regiones corticales y subcorticales encargadas de realizar representaciones mentales.
- III. Existe una red ampliamente distribuida de regiones que incluyen áreas prefrontales laterales, frontales mediales (pre-SMA y cíngulo anterior), parietales posteriores, occipito-temporales, y cerebelosas en las que las disminuciones relacionadas con la práctica se reportaron de forma consistente, independientemente de la tarea que se estuviera llevando a cabo.
- IV. Las reducciones con la práctica fueron particularmente relevantes en la corteza frontal, donde el nivel de actividad en algunas subregiones (por ejemplo, en la CPFdl izquierda, el cíngulo anterior) ya no era significativamente diferente de la condición de línea de base después de la práctica amplia.
- V. La persistencia de la actividad en las subregiones prefrontales después de la práctica es una evidencia sugestiva de que al menos algo de la corteza prefrontal está dedicado a las funciones de representación de nivel superior que no están directamente asociadas con el control que ejerce la red mencionada en el punto III.

- VI. Los cambios relacionados con la práctica parecen reflejar contribuciones desvanecientes de un sistema de control y de uno de nivel superior que se van desactivando en la medida en que una tarea llega a aprenderse bien

- VII. La preparación para una tarea nueva es un proceso de abajo hacia arriba (bottom-up) que involucra reglas de representación de menor nivel en la CPF dorsolateral (CPFdl) antes de una representación de la tarea integradora de reglas de más alto nivel en la CPF anterior o rostral (CPFr).

- VIII. La preparación para una tarea practicada es un proceso de arriba hacia abajo (top-down) que implica una representación de la tarea integradora de reglas de más alto nivel (recuperada desde la memoria de largo plazo) en la CPFr antes de representaciones de reglas de nivel inferior en la CPFdl

- IX. La comparación entre las fases orientadas al estímulo e independientes del estímulo produjeron activación en la corteza prefrontal rostral medial. La activación en relación con estos dos contrastes se encontraba en diferentes partes de la corteza prefrontal rostral medial, con la actividad relacionada con la orientación hacia los estímulos generados internamente siendo significativamente posterior y superior con respecto a la relacionada a la atención orientada al estímulo frente a los independientes del estímulo. Así, aunque todavía puede ser exacto describir la corteza prefrontal rostral en su conjunto como implicada en la selección atencional entre la información perceptual y la autogenerada, está claro que existe una considerable especialización funcional dentro de esta región y que las diferentes partes pueden estar preferentemente implicadas en las funciones de nivel superior.

Con base en estas categorías, se proponen las siguientes premisas que representan abstracciones y generalizaciones con base en los hallazgos del meta-análisis y las conclusiones de las revisiones sistemáticas de los capítulos tres y cuatro:

- (1) A nivel del procesamiento de la información que tiene que ser aprendida, el sistema cognitivo se compone de al menos tres módulos especializados pero no necesariamente subordinados el uno al otro, cada uno con determinadas funciones.

(2) Estos módulos diferentes pero muy relacionados entre sí para la preparación de la tarea están compuestos por un sistema que implica la activación de un conjunto de regiones corticales anteriores que se activarán diferencialmente dependiendo de si se cuenta o no con las instrucciones para el aprendizaje de una tarea nueva. Otro sistema implica la recuperación de un conjunto aprendido de reglas de ejecución desde la memoria a largo plazo para facilitar la ejecución de una tarea aprendida. Y un tercer sistema que se activa durante todo el desempeño de la tarea, desde las fases iniciales hasta las aprendidas, cuyo nivel de activación no cambia significativamente en estas fases y parece ser importante para el desempeño de cualquier tipo de tarea. Estos sistemas demuestran la excepcional flexibilidad del aprendizaje, ya que rápidamente en este proceso se reconfiguran redes cognitivas del cerebro para implementar una amplia variedad de posibles tareas desde sus fases iniciales hasta el dominio de la tarea.

(3) El sistema cognitivo está organizado como una jerarquía funcional para comportamientos mucho más complejos y novedosos como el aprendizaje, es decir, que el proceso A opera sobre los productos del proceso previamente activo B y este a su vez sobre los resultados de un proceso C. En algunos casos, es posible que el proceso A opere sobre los resultados del proceso C directamente, y en otros, que lo haga sobre los resultados previos de su propio proceso.

(4) La creación de instancias de las representaciones mentales puede ocurrir sin influencia de la actividad neuronal provocada directamente por estímulos externos al cuerpo.

(5) La CPFr apoya la coordinación de los recursos de procesamiento cognitivo con respecto a si estos deben volcarse al desempeño de una tarea impuesta externamente o al de una generada internamente. La CPFr lateral selectivamente media la capacidad humana para mantener en mente las metas, mientras que explora y procesa los objetivos secundarios, con los lóbulos frontales organizados a lo largo de un eje antero-posterior que hace que la tarea que está siendo llevada a cabo se haga cada vez más guiada por objetivos dados internamente. El nivel más alto de este control es ejercido por la CPFr (medial) cuando las normas de trabajo deben ser derivadas de un episodio anterior

A partir de los datos arrojados por el meta-análisis, de las categorías que surgen del reordenamiento de los códigos y de las premisas que se plantean, se puede decir que la actividad cerebral durante las tareas de aprendizaje se compone de al menos tres patrones de activación bien diferenciados:

El patrón más común es la reducción de la activación en las áreas prefrontales laterales, frontales mediales (pre-SMA y cingulada anterior), parietales posteriores, occipito-temporales, y subcorticales (cerebelo, ganglios basales) en las que las disminuciones relacionadas con la práctica se reportaron de forma consistente, independientemente de la tarea que se estuviera llevando a cabo. Esta red de áreas del cerebro trabajan juntas al parecer para estructurar el aprendizaje cuando se realiza una tarea nueva. Esta red comprende una serie de discretas áreas corticales que controlan el procesamiento dirigido al objetivo, la atención y la toma de decisiones. Se vio que estas áreas (relacionados con el aprendizaje) estuvieron activas al principio de la práctica y luego disminuyeron su actividad, posiblemente incluso totalmente desactivadas, en la medida que la destreza se adquirió.

Un segundo patrón es el incremento de la activación de tejido cerebral de cortezas de asociación dedicado a la realización de la tarea después de largos periodos de entrenamiento (por ejemplo, en el hipocampo para las tareas de aprendizaje espacial o del cerebelo en el procesamiento secuencial de aprendizajes motores sencillos y complejos).

Y un tercer patrón es la reorganización funcional. Al parecer se presenta una reorganización de las áreas cerebrales activas, es decir, las diferentes áreas del cerebro están activas en las diferentes etapas de aprendizaje. El patrón diferencial de activación y desactivación de las regiones más anteriores del cerebro refleja el hecho de que regiones únicas en estas áreas están implicadas en los diferentes tipos de procesamiento. A medida que una habilidad se adquiere, se utilizan distintas estrategias, y por lo tanto, nuevas áreas se activan para realizar el proceso subyacente (por ejemplo, en la lectura espejo, la práctica temprana implica la rotación mental de las letras, y el desempeño tardío implica el reconocimiento de la palabra y el recuerdo del significado sin rotación algorítmica lenta). Estos hallazgos sugieren una función primordial de la corteza prefrontal rostral en el control de la activación diferencial de estas nuevas áreas dependiendo del tipo de tarea, de lo novedoso o no de la misma y de si se dispone o no de un conjunto de reglas aprendido para llevarla a cabo; y también en la selección atencional entre la información perceptual y la auto-generada.

CONCLUSIONES

Se analizaron en profundidad los datos correspondientes a estudios originales de imagenología cerebral que estudiaron los cambios cerebrales relacionados con la ejecución de paradigmas de tarea doble que evaluaron el aprendizaje en sujetos adultos normales con sesiones de más de 10 minutos de duración donde se comparó una condición inicial contra una condición final después de un periodo de practica y que tuvieran en cuenta los cambios relacionados con habituación y re-entrenamiento, dado que se quiso que los estudios analizados fuesen lo mas cercano posible a la condición de aprendizaje en un aula de clase promedio.

Con base en los hallazgos del meta-análisis de los estudios de neuroimágenes, las categorías principales surgidas a partir de los códigos generados durante el proceso comparativo constante de los datos de los artículos individuales, de las generalizaciones y conclusiones hechas con base en las revisiones sistemáticas de los capítulos tres y cuatro, surgieron las siguientes supercategorías o conceptos centrales que representan la evidencia de tres niveles de funcionamiento cerebral durante el aprendizaje de tareas complejas:

- I. Un sistema representacional
- II. Una red de control cognitivo
- III. Un sistema metacognitivo

Estas supercategorías se correlacionan directamente con los patrones de actividad cerebral consistentemente evidenciados a través del meta-análisis de las neuroimágenes.

En el capítulo siguiente se genera la teoría fundamentada en datos neurocientíficos sobre la metacognición en el aprendizaje y se plantea un nuevo modelo de funcionamiento cerebral que integra las visiones más actuales sobre el aprendizaje de tareas complejas y el control emocional.

CAPÍTULO VI

ELEMENTOS PARA LA FORMULACION DE UNA TEORÍA FUNDAMENTADA EN DATOS NEUROCIENTÍFICOS SOBRE LAS RELACIONES ENTRE LA METACOGNICIÓN Y EL APRENDIZAJE DURANTE EL DESEMPEÑO DE TAREAS COMPLEJAS. PRESENTACIÓN DE UN MODELO DE FUNCIONAMIENTO CEREBRAL DURANTE EL APRENDIZAJE Y ALGUNAS CONSIDERACIONES PARA SU APLICACIÓN EN EL AULA.

En este capítulo se explican las tres supercategorías o conceptos centrales identificadas a través de la aplicación del método de la teoría fundamentada al análisis de artículos individuales que reportaron la actividad cerebral durante el aprendizaje de tareas complejas. Estos conceptos se utilizan como elementos para establecer las posibles interrelaciones teóricas entre los constructos de metacognición y aprendizaje de tareas complejas, desde el punto de vista de la neurociencia cognitiva.

Se presenta un modelo de funcionamiento cerebral con base en estas supercategorías, modelo que tiene en cuenta para su formulación adicionalmente los resultados del meta-análisis de los estudios revisados en los capítulos tres, cuatro y cinco. A través de este modelo se pretende brindar una nueva herramienta conceptual sobre el desempeño normal durante el aprendizaje que pueda llevarse al aula para la adecuación y enriquecimiento de ambientes de aprendizaje.

Al final del capítulo se realiza un análisis en profundidad de dos de los trabajos incluidos en el meta-análisis, y utilizados para la formulación del modelo, cuyos autores abordan el componente psicológico del cambio conceptual desde la perspectiva de la neurociencia cognitiva mediante el uso de neuroimágenes. En estos trabajos se plantean sendos experimentos donde se exponen a estudiantes con diferentes conocimientos previos a situaciones similares a las escolares en las que deben aplicar estos conocimientos mientras se observa su funcionamiento cerebral. A partir de este análisis se pretende explicitar el aporte que el modelo que se plantea puede realizar a la enseñanza de las ciencias en un aspecto importante del proceso enseñanza-aprendizaje como el cambio conceptual.

LA IMPORTANCIA DE LOS MÉTODOS NEUROCIENTÍFICOS CONVERGENTES PARA EL ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO CEREBRAL DURANTE EL APRENDIZAJE

La aparición de técnicas de imagen cerebral ha permitido la exploración de los circuitos neurales que subyacen a la cognición en el cerebro normal. El cerebro ha sido visto tradicionalmente como una computadora encargada de realizar un procesamiento central a partir de la entrada de unos datos y con la salida de unos resultados (Miller, 2003). Pero actualmente el procesamiento cerebral de la información es visto de manera más dinámica como una jerarquía flexible de redes cognitivas parcialmente especializadas. A medida que el procesamiento de la información fluye a niveles más altos, su localización espacial se reduce y la especialización hacia el objeto aumenta (Schneider y Chein, 2003).

Las técnicas de imagen permiten a los investigadores observar los cambios cerebrales que se producen cuando los niños adquieren habilidades cognitivas complejas como la lectura (Posner y McCandliss, 1999) y el procesamiento numérico (Temple y Posner, 1998). Otras funciones cerebrales importantes, como el control inhibitorio o la detección y corrección de errores, son también accesibles a través de la metodología de imágenes (Casey et al, 1997; Fernández-Duque et al, 2000). Pero los trabajos que estudian los cambios relacionados con la práctica del material aprendido (un paradigma mas cercano al desempeño escolar en la vida cotidiana) son relativamente recientes en la literatura y no habían sido analizados debidamente para establecer las relaciones entre las diferentes áreas corticales a medida que se fortalecen los aprendizajes y no se habían considerado previamente como un cuerpo unificado de datos. Por otra parte, además de una concentración de trabajo en el área del aprendizaje motor, la investigación existente en neuroimagen sobre los efectos de la práctica consisten de una literatura inconexa, que abarcan una amplia gama de paradigmas experimentales y producen resultados que parecen variar considerablemente de un estudio a otro. Utilizando un enfoque meta-analítico, el presente trabajo demostró que, a pesar de la variabilidad aparente, hay un patrón significativo que aparece consistentemente entre los estudios. Por lo tanto, ahora las preguntas educativas de interés sobre el aprendizaje y la metacognición pueden ser examinadas usando los métodos de la neurociencia cognitiva.

Como se vio en un capítulo anterior, muchos estudios de imagen cerebral han sido diseñados con el objetivo de aislar las regiones cerebrales responsables de una función mental específica. Los resultados de estos estudios revelan actividad de regiones específicos del cerebro, y pueden haber dado la impresión de que el cerebro es sólo una colección de centros de procesamiento especializados cada uno encargándose de tareas muy específicas. Este tipo de análisis son los que sustentan para algunos (Shimamura, 2000, 2008; Fernández-Duque et al, 2000; Fleming y Dolan, 2012) la visión bi-

dimensional de la metacognición propuesta por Nelson y Narens (1990) y explicada en el capítulo tres de este trabajo.

Sin embargo, exámenes más detallados y recientes de cómo cambia la actividad cerebral cuando se está aprendiendo y practicando un concepto nuevo revelan un patrón de actividad estructurado compuesto por tres sistemas organizados jerárquicamente, cada uno con un papel distinto en el aprendizaje y cada uno caracterizado por un nivel de activación dependiente del tipo de aprendizaje y de la novedad de la tarea, como se vio en el capítulo cinco. Estos sistemas pueden dividirse en un *sistema de representación*, que apoya el aprendizaje asociativo y el desempeño en tareas bien aprendidas; *una red de control cognitivo*, que asigna la atención y los recursos de memoria durante la ejecución de tareas nuevas para las que pueden aplicarse reglas ya aprendidas; y un *sistema metacognitivo*, que orienta el establecimiento de nuevas rutinas de comportamiento, monitorea la calidad de las conductas en curso, y supervisa las transiciones de un comportamiento a otro, dependiendo del estado emocional del sujeto. La participación combinada de estos sistemas permite a los humanos aprender rápidamente y transferir con flexibilidad el conocimiento existente a nuevos contextos.

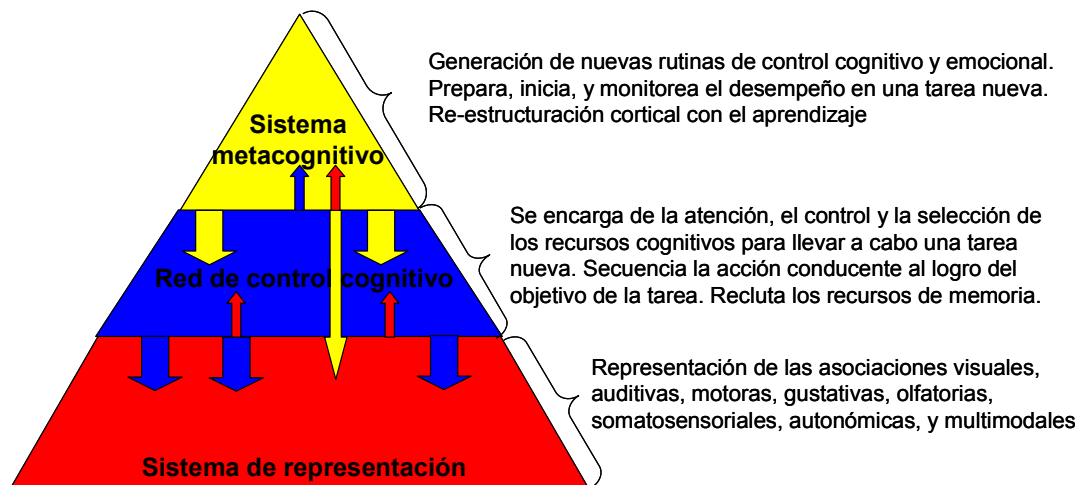
UNA TEORÍA DE LA METACOGNICIÓN FUNDAMENTADA EN LOS CAMBIOS CEREBRALES DURANTE EL APRENDIZAJE

Mediante la exploración de los cambios temporales en el cerebro durante el aprendizaje (y haciendo uso de evidencia de apoyo de la investigación sobre la conectividad del cerebro), se plantean en este trabajo unos elementos conceptuales para la formulación de una teoría y un modelo para la comprensión del papel cambiante de las redes específicas del cerebro a través de fases diferentes de aprendizaje – desde la asignación inicial de una tarea nueva, a través de un período de ejecución controlada, y finalmente a un estado en el que el comportamiento aprendido se puede llevar a cabo rápidamente habiendo re-construido las reglas que le son propias.

Esta teoría combina tanto los hallazgos de investigaciones anteriores sobre la función ejecutiva descritos en el capítulo tres, como los más recientes descubrimientos de las ciencias del cerebro que dan cuenta de la notable capacidad y flexibilidad de la corteza prefrontal que se analizaron en el capítulo cuatro, con la evidencia analizada en el capítulo cinco que sugiere que el cerebro humano

logra el aprendizaje a través de tres sistemas organizados jerárquicamente: un sistema de representación, una red de control cognitivo, y un sistema metacognitivo (Figura 6.1).

Figura 6.1. Representación esquemática de los tres sistemas cognitivos que se organizan jerárquicamente durante el aprendizaje de tareas complejas nuevas que pueden o no incluir un componente emocional. Las flechas más gruesas que salen de los niveles superiores hacia los niveles inferiores indican control y monitoreo que llevan a re-estructuración de las reglas de representación de las rutinas aprendidas. Las flechas más delgadas indican retroalimentación por parte de los niveles inferiores a través de los sistemas de memoria.



Cada sistema juega un papel fundamental y diferente en el procesamiento de la información y el aprendizaje. La realización de una tarea nueva por lo general procede con un énfasis en el cambio desde el sistema metacognitivo (fase inicial de preparación para la tarea nueva) a la red de control cognitivo (fase de ejecución controlada inicial de la tarea) y, por último, el sistema de representación (fase de ejecución asociativa de la tarea aprendida). Aunque se discute cada sistema por separado, se hace énfasis que es su comportamiento combinado e interactivo continuado lo que permite la complejidad y la flexibilidad del aprendizaje humano, y que considerar un sistema aislado de los demás puede ocultar su naturaleza sinérgica. En la Tabla 6.1 se detallan las regiones cerebrales que integran cada sistema, el rol de cada sistema en el aprendizaje, la fase del aprendizaje en que estaría más activo cada sistema, y se dan ejemplos de los tipos de tareas que los activan de manera preponderante.

Tabla 6.1. Los sistemas cerebrales que soportan el aprendizaje de una tarea nueva.

	SISTEMA METACOGNITIVO	RED DE CONTROL COGNITIVO	SISTEMA REPRESENTACIONAL
PAPEL	Establece nuevas rutinas de control cognitivo y emocional; se encarga de preparar, iniciar, y monitorear la tarea nueva	Se encarga del secuenciamiento de las rutinas aprendidas y del mantenimiento y actualización de los objetivos de la tarea nueva	Aprendizaje de asociaciones sensitivas, motoras, y semánticas
ETAPA DEL APRENDIZAJE DONDE ACTUA	Formación de las reglas de representación de la tarea al inicio de la misma y durante el aprendizaje temprano	Ejecución controlada de tareas recién aprendidas o cuyas reglas ya se conocen	Ejecución de tareas aprendidas
EJEMPLO	Inicia una rutina de búsqueda visual y favorece la activación de estrategias alternativas de búsqueda si no se encuentra el objetivo	Secuenciamiento de una rutina de búsqueda visual (especificación del orden de búsqueda, frecuencia y acción contingente en caso de no encontrar el objetivo) cuando se está realizando una prueba que requiere específicamente la búsqueda de un objetivo visual relevante	Representación mental de un objeto visual y sus asociaciones semánticas
REGIONES CEREBRALES	Corteza prefrontal rostral, lóbulo temporal anterior, corteza cingulada posterior, claustrum	corteza prefrontal dorsolateral, corteza cingulada anterior, unión frontotemporal inferior, corteza parietal posterior, tálamo, ganglios basales, cerebelo	Hipocampo, parahipocampo, cortezas cerebrales primarias motoras y sensitivas

El sistema de representación

El sistema de representación es el sustrato esencial del cerebro para aprender sobre el mundo. Es dentro de este sistema que los recuerdos y conocimientos básicos se adquieren y almacenan a través de la integración de la información sensorial, perceptual motora, y las asociaciones multimodales (a partir de diferentes fuentes).

El papel fundamental del sistema de representación es capturar las regularidades y las contingencias de las experiencias de las personas haciendo asociaciones simples: el proceso A va después o en línea con el proceso B. El sistema de representación sirve como repositorio principal para el conocimiento acumulado. El aprendizaje en el sistema de representación funciona según el principio básico de que cuando las células del cerebro disparan juntas (porque son activadas simultáneamente por entradas particulares), se conectan juntas.

Es importante destacar que el sistema de representación es un aprendiz lento. Es decir, los cambios neurales que apoyan el aprendizaje asociativo en el sistema de representación ocurren en forma gradual e incremental - en numerosos episodios de aprendizaje, a menudo durante muchos días. Este sistema de aprendizaje lento es ayudado por mecanismos de aprendizaje más rápidos en el hipocampo (una estructura conocida por ser crucial en el aprendizaje y la memoria declarativa) y los ganglios basales (estructuras que se sabe apoyan el aprendizaje procedimental). El aprendizaje lento en el

sistema de representación es importante porque asegura que la información crítica almacenada en el sistema no ha sido dañada por experiencias aisladas o anómalas. Sin embargo, una característica importante del sistema de representación es que con el tiempo puede aprender a procesar la información sin la intervención de los mecanismos de atención pertenecientes a la red de control cognitivo, lo que acelera las respuestas a los estímulos familiares o emocionales sobresalientes y en última instancia conduce al desempeño eficiente en una tarea aprendida.

La red de control cognitivo

La red de control cognitivo es un sistema de dominio general encargado de supervisar y dirigir el procesamiento de información en el sistema de representación. La red de control cognitivo guía la atención hacia la información que sea más relevante para su posterior procesamiento. Por tanto, forma un sistema de memoria de trabajo que permite a las personas mantener las metas y sesgar el procesamiento mental de acuerdo con esos objetivos y el contexto actual. La red de control cognitivo también posee mecanismos que permiten a las personas mantener la información irrelevante fuera de la mente y actualizar y secuenciar la acción para que puedan llevar a cabo las rutinas de comportamiento complejas dirigidas al objetivo. Aunque a menudo se comporta como una red coordinada por la corteza prefrontal lateral (cuyas representaciones parecen reflejar las rutinas complejas de varios pasos que guían los comportamientos secuenciados), la red de control cognitivo se compone de muchas áreas separadas del cerebro (Tabla 6.1), cada una con funciones especializadas. En otros modelos sobre las funciones cognitivas, esta red podría ser equivalente al constructo de las funciones ejecutivas.

Mientras que el sistema de representación representa asociaciones específicas aprendidas, las rutinas complejas representadas en la red de control cognitivo pueden incorporar información variable. Es decir, cualquiera de varios valores pueden ser asignados a las variables en una rutina de control cognitivo de la red. Por ejemplo, si un comportamiento representado es "seguir leyendo un documento hasta que suceda un fenómeno X" el valor de X podría ser "llegó el profesor" o "son las cuatro en punto" o "es hora de ir a jugar". Esta propiedad vinculada a la variable de la red de control cognitivo es esencial ya que permite a los comportamientos aprendidos ser aplicados en un ambiente nuevo y adaptarse a una nueva información.

Cuando el sistema de representación procesa la información nueva o poco familiar, la red de control cognitivo está firmemente comprometida en dirigir la atención hacia las representaciones de la tarea y sus correspondientes objetivos. Es decir, cuando una tarea no está bien aprendida, la red de control cognitivo se asegura de que el cerebro se mantenga enfocado en la información correcta. El procesamiento en la red de control cognitivo es esencial para estructurar el rendimiento y el aprendizaje temprano de casi cualquier tarea. Sin embargo, ya que las asociaciones específicas para el desempeño de una tarea ya aprendida en el sistema de representación llegan a estar bien establecidas, pueden evocar procesamientos adicionales sobre la base de la información que llevan sin tener que esperar la señal atencional de la red de control cognitivo. Por consiguiente, el papel de la red de control cognitivo se reduce a medida que el sistema de representación aprende a manejar la información de una tarea determinada por sí misma.

La evidencia del amplio pero decreciente papel de la red de control cognitivo durante la transición del procesamiento controlado al asociativo proviene de numerosos estudios de neuroimagen que comparan el desempeño no experimentado con el calificado. Los estudios que utilizan tareas y materiales muy diversos han mostrado un patrón consistente de fuerte activación en regiones pertenecientes a la red de control cognitivo durante la ejecución temprana y activación comparativamente débil en estas regiones del cerebro una vez que la tarea ha quedado bien aprendida como lo evidencia el meta-análisis realizado en la primera parte del capítulo cinco. A partir de estos estudios se infiere que el entrenamiento, no sólo la maduración, puede desempeñar un papel fundamental en dar forma y mejorar la capacidad de control cognitivo mediante el aumento de la eficacia funcional de las regiones cerebrales que participan en la red de control cognitivo.

El sistema metacognitivo

Los resultados de los estudios de neuroimágenes analizados en el capítulo anterior proporcionan las evidencias que indican que un tercer sistema es importante para el aprendizaje humano, como este sistema involucra la activación de áreas cerebrales diferentes a la red de control cognitivo en diferentes fases del aprendizaje (tabla 6.1), a este sistema lo he denominado como metacognitivo haciendo alusión a los planteamientos originales de John Flavell sobre la necesidad de la regulación de las cogniciones.

De acuerdo con este planteamiento, este sistema se encuentra por encima de la red de control cognitivo (Fig. 6.1) y juega un papel importante tanto en la reconfiguración del cerebro mientras se prepara para controlar la ejecución de rutinas de comportamiento aprendidas y para monitorear la conducta durante la adquisición de nuevas rutinas. El sistema metacognitivo puede considerarse como un sistema de control que regula tanto la red de control cognitivo como el sistema de representación. El sistema metacognitivo puede, por ejemplo, iniciar o terminar una rutina de la red de control cognitivo, o puede modificar la configuración de una rutina cognitiva almacenada en el sistema de representación con el fin de mejorar el aprendizaje y el rendimiento.

El sistema metacognitivo posee un patrón de interconexión diferente que las regiones de la red de control cognitivo. La corteza prefrontal anterior se conecta a la porción anterior del lóbulo temporal, y contiene pocas proyecciones a las áreas cingulada anterior o parietales (regiones de la red de control cognitivo que están estrechamente conectados a la corteza prefrontal posterior), así como amplias proyecciones al córtex cingulado posterior y al claustrum.

La región más claramente implicada como un componente del sistema metacognitivo se encuentra en la parte más frontal del cerebro, en la corteza prefrontal anterior. A diferencia de regiones más posteriores de la red de control cognitivo que se mantienen activas durante el aprendizaje, la actividad en la corteza prefrontal anterior disminuye a su línea de base después de sólo unos pocos ensayos en un paradigma de aprendizaje de una regla. Este comportamiento de la corteza prefrontal anterior es consistente con un papel en el control de un nodo clave de la red de control cognitivo que se localiza más atrás en la corteza prefrontal: la corteza prefrontal dorsolateral. Esta región prefrontal más posterior parece representar rutinas de comportamiento específicas influenciando el flujo de información en las zonas distales de representación, una función que es consistente con su papel en la red de control cognitivo.

Las regiones prefrontales más anteriores están implicadas en conductas más complejas y abstractas y, principalmente, modulan la actividad de las áreas prefrontales cercanas en la selección de la estrategia cuando las personas empiezan a aprender una nueva regla y en la orientación de la actividad cerebral desde una asignación de recursos cognitivos a objetivos generados internamente hacia el desempeño de una actividad identificada como externamente relevante.

La participación relativa de los tres sistemas de aprendizaje varía en la medida que las personas transitan a través de las fases del aprendizaje y la experiencia. Durante la fase de entrenamiento, el sistema metacognitivo desempeña un papel especialmente importante en la iniciación y la calibración del cerebro, de modo que esté listo para llevar a cabo una nueva rutina. Durante la ejecución controlada, la red de control cognitivo toma el primer lugar en importancia al dirigir la atención interna con el fin de controlar el flujo del procesamiento de la información. Por último, cuando la práctica llega a cierto nivel, la actividad se desplaza hacia el sistema de representación, que ha completado su codificación de las múltiples asociaciones necesarias para el desempeño posterior de lo aprendido, lo que permite a la red de control cognitivo disminuir su control. A pesar de estas transiciones, los tres sistemas interrelacionados permanecen bien orquestados, con el sistema metacognitivo monitoreando la actividad de la red de control cognitivo y del sistema de representación, y la red de control cognitivo rastreando y re-enrutando periódicamente la actividad del sistema de representación.

Se especula que los individuos que poseen una gran capacidad para desempeñarse en contextos nuevos pueden tener un sistema metacognitivo especialmente bien desarrollado, lo que les permite adquirir rápidamente nuevas rutinas de comportamiento y considerar la posible eficacia de estrategias de aprendizaje alternativas.

EL PAPEL DE LOS SISTEMAS CEREBRALES QUE SOPORTAN EL APRENDIZAJE EN EL CAMBIO CONCEPTUAL DURANTE EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS. UTILIDAD DEL MODELO PLANTEADO PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS.

Considero que es importante aclarar que no se pretende ahondar en la discusión sobre la relación entre metacognición y cambio conceptual, ni tampoco validar o invalidar las propuestas hechas al respecto por los teóricos del cambio conceptual, pues estos no hacen parte de los objetivos de este trabajo de investigación. Por lo anterior, el análisis que aquí se realiza se circunscribe a profundizar en los resultados de dos trabajos de investigación utilizados en esta tesis que abordan el tema del cambio conceptual desde la perspectiva de la neurociencia cognitiva mediante el uso de neuroimágenes, extrapolando las posibles implicaciones que el modelo de funcionamiento cerebral planteado tiene con respecto a estos hallazgos.

El aprendizaje y el cambio conceptual

El proceso de aprendizaje de ninguna forma es reductible al hecho de acumular conocimientos para su uso posterior, ya que implica además, entre otras cosas, modificar las ideas que se tienen sobre el mundo, la forma de usarlas y la forma de relacionarlas entre sí (Barón Birchenall, 2009). La sustitución o modificación de los conceptos que posee un individuo, así como la transformación de los procesos mediante los que se manejan dichos conceptos, se conoce como cambio conceptual (Pozo, 1999). Igualmente, hay que anotar, se utiliza la expresión cambio conceptual para referirse tanto al proceso de alteración de las ideas como a su resultado (Chi et al., 1994).

La concepción misma del cambio conceptual se ha modificado a lo largo de la historia y hoy se cuenta con numerosos modelos del mismo, que abarcan desde las posiciones más radicales (Strike y Posner 1985) que proponen la sustitución total de las ideas previas por los conceptos científicos, hasta propuestas que aceptan la modificación gradual y parcial de las ideas de los alumnos, llegando a considerar la coexistencia dual o múltiple de concepciones en el estudiante (Bello 2004) cuyo uso estará determinado por el contexto social y fuertemente determinado por aspectos afectivos.

Sin embargo, aunque la modificación conceptual es un hecho, no todos los académicos están de acuerdo sobre la forma en que sucede, e incluso, sobre la ubicación misma de los conceptos (Barón Birchenall, 2009).

Debido a la complejidad que éste representa no se cuenta aún con una teoría que satisfaga todos los interrogantes que se presentan y que motiva la pregunta ¿qué cambia en el estudiante cuando se hace evidente en él un cambio conceptual? (Pozo et al., 1999; diSessa y Sherin, 1998). Esta situación refleja que el cambio conceptual es un proceso complejo, que no se trata simplemente de una sustitución de conceptos. Además, indica que el cambio conceptual está asociado a otros dos problemas complejos, ambos sin solución, al menos, cercana: cómo se construye el conocimiento y en qué consiste el aprendizaje (Flores, 2004).

Numerosos estudios indican que el conocimiento científico puede ser inestable y difícil de lograr. ¿Cómo se puede determinar lo que ha sucedido cuando el estudiante adquiere un nuevo concepto, sea

este uno científico o no? El enfoque que adoptan los autores consultados para la realización de este trabajo es mirar dentro del cerebro y preguntar ¿qué redes de las diferentes regiones cerebrales se activan cuando aprendemos algo nuevo? Debido a que los neurocientíficos cognitivos han identificado los principales sitios del cerebro implicados en la memoria, el aprendizaje, la atención y el razonamiento, ahora es posible comprender los tipos de cambios cognitivos y neuronales que se producen en el aprendizaje educativamente relevante. A continuación se revisan en profundidad dos de los trabajos utilizados para el meta-análisis que muestran hallazgos recientes sobre el cambio conceptual en la ciencia utilizando técnicas de imagenología cerebral (Fugelsang y Dunbar, 2005; Dunbar et al., 2005). Se explora el papel que tiene los sistemas cerebrales en relación con el cambio conceptual.

La presentación de anomalías, el cerebro, y el cambio conceptual en la educación científica

En un primer trabajo Fugelsang y Dunbar (2005) utilizan RMNf para investigar los cambios en los conceptos científicos que los estudiantes encuentran plausible o implausible. Muchos de los conceptos científicos con los que los estudiantes tienen dificultad son inverosímiles para los estudiantes. Los autores emularon el contexto educativo mediante la presentación a los estudiantes con datos que eran compatibles o incompatibles con su teoría.

Esto es similar a muchas clases de ciencias donde los estudiantes tienen que recoger datos que tal vez sean incompatibles con su teoría favorita y consistentes con lo que los estudiantes piensan que es una teoría no plausible. Para este estudio, los autores les dieron a los estudiantes datos compatibles o incompatibles con una teoría plausible o una implausible. Se examinaron los cerebros de los estudiantes mediante RMNf mientras recibían los datos. El interés principal era conocer qué regiones del cerebro se activaban por los datos que fueran consistentes frente a los inconsistentes con sus teorías. La hipótesis de trabajo fue que los datos incompatibles con una teoría plausible serían ignorados y no darían lugar incluso a pequeños cambios en un concepto, mientras que los datos compatibles con una teoría plausible serían integrados con éxito al concepto dado.

Se encontró que cuando los estudiantes recibieron datos que eran compatibles con sus teorías preferidas, las regiones del cerebro que se sabe están involucrados en el aprendizaje (como el núcleo caudado y la circunvolución del hipocampo) mostraron un mayor nivel de activación con respecto al valor basal. Sin embargo, cuando a los estudiantes se les presentaron datos que no concordaban con su

teoría preferida, el Cingulo anterior y la corteza prefrontal dorsolateral (CPF DL) mostraron mayores niveles de activación. Como se revisó en el capítulo tres, la corteza cingulada anterior es una región del cerebro asociada con la detección del error y el monitoreo del conflicto, mientras que la CPF DL es uno de los componentes del sistema de control cognitivo asociado con la memoria de trabajo.

A la luz del modelo aquí planteado, estos resultados indicarían que cuando los datos que se presentan a un estudiante son consistentes con la teoría que el estudiante considera que es la correcta, los cambios en los conceptos se logran a través de estructuras relacionadas con el aprendizaje. Sin embargo, cuando los estudiantes reciben información que es incompatible con su teoría preferida, la activación se produce en su corteza cingulada anterior y prefrontal dorsolateral, lo que permite inferir que los estudiantes están inhibiendo la entrada de los datos que no concuerdan con sus teorías. Una conclusión preliminar de este trabajo que tiene importantes repercusiones para la enseñanza de las ciencias sería que presentar a los estudiantes solamente las anomalías de los datos relacionados con las teorías correctas (las cuales no necesariamente son las preferidas por los estudiantes) no es suficiente para producir aprendizajes. En cambio, estos resultados indican que la creencia previa en una teoría influye en la interpretación de los datos de una manera altamente específica: los datos incompatibles con una teoría se tratan como errores. Por otra parte, los autores observaron poca activación de los mecanismos relacionados con el aprendizaje cuando los datos fueron incompatibles con una teoría preferida. Sólo después de una extensa presentación de los datos inconsistentes con la teoría favorecida se vieron activaciones asociadas con mecanismos de aprendizaje.

Los resultados de este estudio sugieren que cuando a los estudiantes se les presenta información que no creen (porque piensan que la teoría es implausible, o porque tienen un conocimiento previo de una teoría diferente), inhiben la información y esto hará que los nuevos conceptos sean extremadamente difíciles de adquirir. Lo más importante, se encontró que los alumnos a los que se les presentó información inconsistente con su teoría (es decir, las anomalías de esa teoría) inhibieron y no reestructuraron su conocimiento. Con base en estos hallazgos, puede plantearse que la sola presentación de las anomalías puede llegar a no ser una estrategia de enseñanza tan eficaz a mediano y largo plazo en la educación científica como se piensa actualmente.

La enseñanza de la física, el cerebro y el cambio conceptual en la educación científica

En otra serie de experimentos Dunbar y cols. (2005) adoptaron un enfoque diferente que se dirigió más directamente a los efectos de la educación sobre el cerebro. En este caso, se formaron dos grupos de estudiantes, un grupo con estudiantes que no habían tomado clases formales de física en la secundaria o a nivel universitario y se compararon con un grupo de estudiantes que habían tomado al menos cinco cursos universitarios de física. Entre los grupos de estudiantes no había diferencias significativas en otros aspectos relevantes como sus resultados en pruebas de actitud en lectura, escritura y matemáticas (tipo SAT), edad, o una distribución de géneros. La idea básica fue que los estudiantes de física habían pasado por un cambio conceptual en su concepto de movimiento, y que los estudiantes que no habían atendido a cursos formales de física no habían pasado por este cambio conceptual y confiarían en sus teorías ingenuas (nativas) al responder la tarea. Es decir, que los autores estaban esperando ver a los estudiantes sin un conocimiento en física utilizar la teoría del “impulso”, y a los estudiantes con una educación “extensa” en física utilizar las teorías de Newton. Los autores utilizaron imágenes generadas por RMNf para determinar qué cambios se produjeron en el cerebro como resultado del aprendizaje de nuevos conceptos científicos a través de la enseñanza formal de la ciencia, utilizando en el laboratorio un conjunto de pruebas semejantes a las que utiliza comúnmente un docente de física en el aula para explicar las leyes del movimiento. Adicionalmente, los autores también utilizaron una prueba estándar de comportamiento que les permitió evaluar si los estudiantes habían hecho el salto conceptual de una teoría ingenua (nativa) a la teoría newtoniana.

La prueba consistió en mostrar a los estudiantes un video que mostraba dos bolas que caen y se les pedía que presionaran una tecla si ésta era la forma en que las bolas deberían caer en un ambiente sin fricción, o que presionaran una tecla diferente si las bolas caían en una forma que no era la que se podría esperar en este entorno. Uno de los estímulos consistió en mostrarles a los estudiantes las dos bolas cayendo a la misma velocidad y otro a una velocidad diferente. Las bolas podían ser del mismo tamaño (ambas grandes o pequeñas), o de diferentes tamaños (una grande y una pequeña). Se escanearon los cerebros de los estudiantes mientras se sometían a la RMNf. Las variables que se compararon fueron los videos newtonianos (aquellos donde dos bolas de tamaño desigual cayeran a la misma velocidad) con los videos “nativos” (aquellos en los que la bola más grande cae a un ritmo más rápido que la más pequeña). Los datos comportamentales revelaron que los estudiantes sin un conocimiento previo de física predijeron que la bola más grande caería más rápido que la más pequeña y esta creencia la trasladaron a sus pruebas cuando vieron los videos; mientras que los estudiantes “expertos” en física predijeron que las dos bolas (tanto las bolas más grandes como las más pequeñas) caerían a la misma velocidad. Por lo tanto, los estudiantes con conocimientos en física parecían haber hecho el cambio conceptual a la física newtoniana. Una prueba independiente de la comprensión de los conceptos de física que se aplicó a todos los estudiantes (el Inventario del Concepto Fuerza de

Hestenes et al., 1992) también indicó que los estudiantes “expertos” en física habían hecho el cambio conceptual de una teoría ingenua del movimiento a una teoría newtoniana.

Los datos de la RMNf indicaron diferencias importantes entre los estudiantes que no había tomado cursos formales de física y los que si lo habían hecho. Cuando los estudiantes “ingenuos” vieron las dos bolas de diferentes tamaños cayendo a la misma velocidad, esto fue incompatible con su teoría ingenua (nativa). En consecuencia, la corteza cingulada anterior y el área motora suplementaria mostraron una mayor activación, lo que indica que consideraban que estos eventos eran extraños o erróneos lo que resultó en la activación de áreas relacionadas con la respuesta a un conflicto. A la inversa, cuando los estudiantes “expertos” en física vieron los videos “nativos” (aquellos en los que la bola más grande cae a un ritmo más rápido que la más pequeña), este fue incompatible con su teoría Newtoniana y como resultado la corteza cingulada anterior y las áreas motoras suplementaria mostraron una mayor activación. Así, los estudiantes “expertos” en física parecían apreciar los videos “nativos” como erróneos, mientras que los estudiantes “ingenuos” apreciaron los videos newtonianos como erróneos. Claramente, esto proporciona evidencia de que se produjo un cambio en el conocimiento conceptual de los estudiantes. Se presentaron otros hallazgos que corroboran los efectos de la educación sobre el cerebro: los estudiantes “expertos” en física mostraron una mayor activación en la corteza frontal rostral medial para los videos newtonianos, mientras que los estudiantes “ingenuos” mostraron una mayor activación de esta área con los videos “nativos”.

Estos resultados son consistentes con la hipótesis aquí explicada de que la corteza frontal rostral forma parte del sistema metacognitivo que se activa cuando durante la ejecución de rutinas de comportamiento aprendidas y para monitorear la conducta durante la adquisición de nuevas rutinas acciones estas que se generan durante la participación conciente en el proceso de aprendizaje de una manera que permite iniciar, preparar o monitorear una tarea compleja nueva. Por lo tanto, la actividad en la corteza frontal rostral es una medida que se puede utilizar para determinar si los estudiantes están siendo metacognitivos cuando están representando un concepto. Estos resultados sugieren que los niveles de activación de la corteza frontal rostral son además un índice de comprensión conceptual.

Una pregunta importante que podría formularse en este momento un teórico constructivista es si este cambio en la representación obedece a una reestructuración o reconfiguración de los conocimientos de los estudiantes. Los hallazgos neuroimagenológicos sugieren un nivel de comprensión nuevo y diferente: Los estudiantes que parecen haber adquirido un nuevo aprendizaje después de varias sesiones formales de enseñanza en ciencias no parecen reorganizar las redes neuronales que tienen que

ver con sus conocimientos previos, sino que pueden estar inhibiendo conscientemente las redes que sustentan su conocimiento “ingenuo” mediante la acción de algunas regiones de la red de control cognitivo mientras que al mismo tiempo están activando el sistema metacognitivo que permite el acceso a la conciencia de su conocimiento científico recientemente adquirido. Esto se corrobora cuando se observó que los estudiantes “expertos” en física mostraron activación en la corteza prefrontal dorsolateral tanto para los videos de impulso como newtoniano, pero el video “nativo”, no el newtoniano, activó además la corteza cingulada anterior lo que sugiere que el acceso a la representación frontal rostral medial está siendo inhibido.

CONCLUSIONES

La impresionante eficacia del aprendizaje humano se ilustra a través del funcionamiento de los tres sistemas descritos, que pese a poseer propiedades diferentes son capaces de operar en forma coordinada. Con sólo los mecanismos de aprendizaje asociativo (es decir, los mecanismos que conforman el sistema de representación), se necesitarían miles de ensayos para que una persona aprendiera incluso las reglas más simples. La regulación de la red de control cognitivo del procesamiento en el sistema de representación acelera el aprendizaje en varios órdenes de magnitud. A pesar de ello, con las solas rutinas almacenadas en la red de control cognitivo no sería posible la flexibilidad para la adaptación a entornos cambiantes, por lo que las funciones que lleva a cabo el sistema metacognitivo sobre estas rutinas acelera aún más el aprendizaje inicial e incrementa la capacidad de adaptación a los cambios de la información contextual.

Se plantean dos ejemplos claros que permiten vislumbrar la utilidad que la aplicación de este modelo de funcionamiento cerebral tendrá para sustentar investigaciones futuras en el campo de la didáctica. Los resultados de los experimentos de neuroimágenes realizados por el grupo de Dunbar (Fugelsang y Dunbar, 2005; y Dunbar et al., 2005) indican que pese a que los estudiantes parecen haber adquirido el conocimiento científico porque pueden dar respuestas correctas cuando se les pregunta específicamente por los conocimientos recién adquiridos a través de una prueba de selección múltiple estándar, su conocimiento puede no haber experimentado el tipo de cambio conceptual que muchos educadores han supuesto que tiene lugar cuando los estudiantes toman cursos formales de ciencia. Estos resultados tienen implicaciones importantes para muchos tipos de intervenciones educativas y para las teorías de lo que sucede cuando se educa en ciencias a los estudiantes. La teoría estándar es que mediante la presentación a los estudiantes de grandes cantidades de datos, anomalías clave, o

nuevas teorías, se puede inducir a los estudiantes a abandonar sus viejas teorías y a reorganizar sus conocimientos. Muchos teóricos de la educación ven esta reorganización conceptual como el objetivo fundamental de la educación y ven el cambio conceptual tan completo que llegan a creer que los alumnos ni siquiera serán capaces de conceptualizar sus viejas teorías después de un cambio conceptual (noción de inconmensurabilidad de Kuhn). Sin embargo, los resultados de los experimentos aquí presentados analizados a la luz de la hipótesis planteada sobre el funcionamiento cerebral durante el aprendizaje indican que aun cuando el cambio conceptual parece haber tenido lugar, los estudiantes siguen teniendo acceso a las teorías “ingenuas” (nativas) cuyo origen puede darse en edades tempranas y que están inhibiendo sus viejas teorías en el curso del aprendizaje de los nuevos conceptos. Además, estos hallazgos de que los estudiantes activan redes inhibitorias cuando se encuentran con datos que son incompatibles con una teoría plausible arrojan nueva luz sobre por qué es tan difícil para los estudiantes adoptar nuevas teorías, y al respecto se especula que probablemente sufran una sobrecarga cognitiva por tener que inhibir información inconsistente con su representación actual de la realidad sobre un concepto particular.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Estrategias que se han denominado como metacognitivas han proliferado durante los últimos años, luego de que los trabajos de John Flavell mostraran la importancia de favorecer el control cognitivo sobre la propia cognición. A pesar de esta avalancha de trabajos pedagógicos que dicen basarse en los postulados de la metacognición establecidos por Flavell (1979) y Brown (1985, 1987), entre otros, la misma comunidad educadora no está completamente segura de entender las bases cognitivas de la metacognición (Martí, 1995; Tamayo, 2004), e incluso algunos ponen en duda su existencia, clamando por un mejor entendimiento y mayor explicación teórica de este amplio campo. Con esta necesidad en mente, se adelantó este trabajo de investigación teórica que se basó en dos metodologías que permitieron una revisión sistemática, crítica, de la literatura más actual en el campo de la metacognición para llegar a una mejor comprensión acerca de su relación con los procesos de aprendizaje, desde el punto de vista de la neurociencia cognitiva.

CONSIDERACIONES FINALES

Las reformas educativas actuales tratan de insertar la educación en un nuevo contexto global cada vez más complejo y exigente, promoviendo una educación que permita a los ciudadanos descifrar el sentido de las mutaciones que están produciéndose (Delors, 1996), al tiempo que continúe representando el instrumento indispensable para que la humanidad pueda progresar hacia los ideales de paz, libertad y justicia social.

Generalmente no es difícil enseñar a un niño a realizar un procedimiento en particular en un contexto particular. Pero es el meta-nivel de las operaciones lo que determina si el niño va a seguir ejerciendo esta habilidad en otras situaciones, una vez se retira la instrucción y el niño reasume el control a nivel meta de su propio aprendizaje (Kuhn y Dean, 2004).

La metacognición se refiere en forma genérica a nuestra capacidad para reflexionar sobre nuestro propio pensamiento, y en un contexto académico, incluye el conocimiento de nosotros mismos como aprendices, acerca de los aspectos de la tarea, y sobre el uso de la estrategia. La metacognición también implica la autorregulación de nuestros propios esfuerzos cognitivos, incluyendo planificar nuestras acciones, comprobar los resultados de nuestros esfuerzos, evaluar nuestro progreso, remediar las dificultades que se presenten, y probar y revisar nuestras estrategias para el aprendizaje (Baker, 2011).

Tanto en la escuela como en la vida cotidiana, el control metacognitivo parece guiar la acción cuando no hay suficientes esquemas preestablecidos para lograr un objetivo particular, como en el caso de una situación de aprendizaje nueva. Por lo tanto, los procesos metacognitivos son necesarios para la toma de decisiones, la resolución de problemas, la selección de la estrategia y el rendimiento en las acciones no rutinarias. Estas tareas cognitivas son cruciales para la acción humana (Kuhn y Dean, 2004).

El resultado principal de este trabajo de tesis permite corroborar desde la neurociencia cognitiva algunos de las observaciones empíricas que se han hecho desde los campos de la educación y de la psicología sobre la importancia de la metacognición. Con los elementos aquí presentados se esboza una nueva teoría sobre la metacognición y se plantea un nuevo modelo sobre el funcionamiento cerebral durante el aprendizaje en tareas complejas, los cuales incluyen a la metacognición en el contexto del funcionamiento cerebral. Ambos productos se basan en los hallazgos de estudios recientes en el campo de la neurociencia cognitiva que muestran como se reorganiza la actividad cerebral durante el curso del aprendizaje en tareas complejas.

La metodología que sirvió para generar esta nueva teoría permitió identificar en los datos neurocientíficos unos patrones comunes de actividad cerebral durante la ejecución de tareas complejas y relacionar esa actividad con los procesos de aprendizaje y de toma de decisiones que tienen lugar en nuestros cerebros conforme aprendemos; así mismo, permitió integrar estos hallazgos con las posiciones clásicas de la psicología cognitiva con respecto al desempeño del individuo que está aprendiendo.

Otra de las preocupaciones de este trabajo fue poder realizar una transferencia más directa y expedita de los hallazgos de laboratorio de la neurociencia cognitiva a los contextos más naturales, especialmente los contextos de clase, donde no se puede llegar (ni se debe pensar en llegar) a los

controles que se establecen en los laboratorios de investigación. Las condiciones para el aprendizaje en el aula son enormemente complejas en comparación con los laboratorios. La información puede ser codificada en múltiples formas, incluyendo pero no limitándose a conferencias, lecturas, participación en grupos de discusión, preguntas y respuestas, y en algunos casos manipulación de los materiales (Maki y Maguire, 2002). Por otra parte, en general, los estudiantes probablemente estén más motivados para desempeñarse bien en una prueba de la clase que va a contribuir a su calificación final en un curso que en una prueba que tiene pocas consecuencias a largo plazo para ellos. Y el intervalo entre el aprendizaje y el ensayo en un contexto de clase puede ser considerablemente más largo que en un contexto de laboratorio, en el que a menudo es el caso de que apenas una hora pasa entre aprender y probar (Hacker et al, 2008). En suma, las diferencias entre los contextos de laboratorio y el aula implica no sólo el tipo de aprendizaje, sino también la profundidad, amplitud, y la motivación para el aprendizaje, todo lo cual puede tener un impacto en la capacidad de monitorear y controlar el aprendizaje. Conociendo estas diferencias de primera mano, se tuvo en cuenta la riqueza ambiental para enfocar el estudio de las bases neurobiológicas de la metacognición no en estudios que intentaran aislar controladamente una a una las funciones del cerebro, sino estudios que aplicaran tareas complejas y tuvieran en cuenta el papel de la práctica y el control emocional en el aprendizaje.

CONCLUSIONES

Tal vez una de las conclusiones principales de este trabajo sea algo que los educadores ya saben desde hace tiempo, y es que si uno quiere aprender algo debe dedicarse a aprenderlo y a practicarlo y tener la firme intención de hacerlo, en otras palabras, que “la práctica hace al maestro”. El entrenamiento en el cerebro tiene analogías y diferencias con el entrenamiento a nivel muscular. Trabajar un área específica del cerebro puede aumentar el espacio de representación y hacer el procesamiento más centrado. Si uno quiere reforzar un área del cerebro, necesita activar atentamente esas áreas para que las neuronas en esa zona se re-organicen. El entrenamiento de las áreas específicas de dominio típicamente disminuye la actividad a medida que el procesamiento se vuelve más centrado, sin embargo, puede causar aumentos en algunas tareas motoras, así como en algunas tareas que implican memoria y desempeño cognitivo de alto nivel. Las áreas de dominio general podrían ser análogas al entrenamiento cardiovascular en el entrenamiento muscular (por las transferencias de entrenamiento de resistencia a través de muchos deportes), en cuanto que una mejora en la función de los músculos del cuerpo mejora el funcionamiento del corazón, y así parecería que en cuanto más aprendemos y más conceptos y reglas de funcionamiento son almacenados y utilizados por nuestras redes de control cognitivo, mejor funcionará nuestro sistema metacognitivo.

Como es bien conocido y entendido por todos quienes nos dedicamos a la docencia, no existen métodos fáciles ni EL método para enseñar, existen múltiples maneras de enseñar y múltiples maneras de aprender, pero ahora podemos estar seguros de que en cuanto al funcionamiento cerebral se refiere sí existen unas áreas específicas encargadas de controlar nuestros procesos cognitivos cuando realizamos tareas para las cuales no tenemos reglas pre-establecidas y que estas áreas se activan por un periodo de tiempo relativamente corto, mientras el sujeto logra la adaptación a los requerimientos de la tarea y es entonces que otras regiones corticales, encargadas del control cognitivo a más largo plazo, asumen el comando del aprendizaje, con las áreas de nivel superior desactivándose casi por completo cuando con la práctica se ha logrado que un sistema de representación más básico asuma el desempeño durante ejecuciones posteriores de la tarea.

Poner estos hallazgos en el contexto escolar y del desarrollo no es tarea fácil, y excede las intenciones académicas de este trabajo teórico el querer extraer fórmulas para que los docentes apliquemos estos conocimientos directamente en el aula. Sin embargo, podría proponerse, en primer lugar, que los hallazgos del funcionamiento cerebral durante el aprendizaje y el cambio conceptual ofrecen una imagen más clara de los procesos mentales que tienen lugar cuando los estudiantes aprenden nuevos conceptos científicos: La activación de redes neuronales que tienen que ver con mecanismos inhibitorios es un gran obstáculo para la adquisición de nuevos conceptos durante el aprendizaje de paradigmas que desafían de alguna manera la visión “ingenua” del mundo que posee el estudiante. En segundo lugar, estos resultados indican que los estudiantes ingresan al salón de clase de ciencias con teorías fuertes, sobre todo en la física, que nunca desaparecen por completo, sino que ha medida que se aumenta el grado de exposición y de activación de las redes neuronales que tienen que ver con la adquisición de nuevas rutinas (las regiones frontales rostrales del sistema metacognitivo) se mantienen bajo control inhibitorio mediante la activación de las redes de control cognitivo.

Una forma de potencializar el sistema metacognitivo sería proveer desde la primera explicación y la primera práctica de un concepto nuevo en qué consiste explícitamente la novedad del mismo con respecto a otros conceptos y otras prácticas ya realizadas, y tal vez ya dominadas por el aprendiz, para que así el sistema metacognitivo pueda re-organizar la red de control cognitivo y el sistema de representación de forma más específica y eficiente.

De lo anterior se desprende que una de las labores más importantes del docente de ciencias a la hora de enseñar un concepto científico nuevo sea la de mantener activas las redes neuronales que tienen que ver con el sistema metacognitivo mediante el uso de la multirepresentación en el aula ya que estas permiten el acceso a la conciencia de los conocimientos recientemente aprendidos y permite la reconfiguración de las redes neuronales de los sistemas de control cognitivo y representacional sobre los cuales se asentará en el mediano y largo plazo el conocimiento científico que se está enseñando.

RECOMENDACIONES

Las teorías (o perspectivas teóricas) son las lentes artificiales a través de las cuales pueden verse las cosas claramente. Sin un buen cuerpo de investigaciones teóricas, la metacognición no será capaz de avanzar en su desarrollo. Los elementos esbozados aquí permitirán elaborar en el mediano y largo plazo una nueva perspectiva teórica acerca de la metacognición desde la perspectiva de la neurociencia cognitiva que permitirá el desarrollo de nuevas investigaciones en este aspecto tan importante para la enseñanza de las ciencias.

Para quienes se inician en el campo, un cuerpo teórico como el presente servirá como punto de partida para iniciar la organización de programas de entrenamiento y podrá contribuir al entendimiento teórico que subyace a las prácticas educativas metacognitivas.

Para los administradores de políticas educativas, las bases teóricas que se ofrecen en este trabajo les brindarán una guía para la toma de sus decisiones. Sin un fundamento teórico que conduzca a investigaciones sólidas, las decisiones políticas que se toman serán erradas. Esta investigación podrá contribuir a los aspectos fundamentales de la exploración teórica y de la metodología de la investigación en el campo de la metacognición.

Metodológicamente, el uso de la teoría fundamentada para el análisis de los datos y la generación de una hipótesis podrá beneficiar a los investigadores en ambos campos. La naturaleza de este estudio proveerá un ejemplo de la sinergia que es posible entre estos dos enfoques. Para quienes trabajan en el campo de la teoría fundamentada, este estudio será una extensión del uso de esa metodología para generar nuevas teorías en el área de la metacognición; y para los investigadores interesados en los

meta-análisis, este estudio proveerá un nuevo protocolo para conducir investigaciones con base en las revisiones bibliográficas realizadas.

Es importante que los nuevos avances de la neurociencia sean cuidadosa e interdisciplinariamente examinados, para asegurar que los hallazgos actuales sean racionalmente aplicados al contexto del aula. En el pasado, las técnicas y las ideas de la llamada educación basada en el cerebro han dado lugar a la formación de neuromitos - nociones simplificadas, incomprendidas o mal aplicadas cuya integración en los contextos educativos es injustificada y, en algunos casos, perjudicial o incluso peligrosa. En su lugar, los hallazgos de la neurociencia deben ser cuidadosamente implementados y evaluados por expertos, tanto del campo de la educación como de la neurociencia, en contextos académicos válidos con el fin de llegar a acuerdos conceptuales que permitan una óptima aplicación de los principios y se logre el objetivo común de ayudar a los estudiantes a aprender a aprender.

Como se menciona en el capítulo seis, el entrenamiento puede desempeñar un papel fundamental en dar forma y mejorar la capacidad de control cognitivo mediante el aumento de la eficacia funcional de las regiones cerebrales que participan en la red de control cognitivo. Diferentes tipos de experiencia como las representaciones semánticas múltiples en el aula al enseñar un concepto nuevo pueden mejorar la competencia de diferentes procesos asociados con el control cognitivo. Por ejemplo, la repetición de ejercicios mentales diseñados adecuadamente puede incrementar la capacidad de actualizar las representaciones mentales activas, de realizar múltiples tareas y de no aceptar injerencias de fuentes distractoras. Estos efectos del entrenamiento se corresponden con una activación reforzada de regiones cerebrales concretas dentro de la red de control cognitivo y le brinda diferentes ventajas a otros aspectos del rendimiento cognitivo.

Finalmente, dado que el modelo planteado está basado en datos sobre el funcionamiento cerebral durante el aprendizaje de una nueva tarea se podrá apreciar más claramente el papel que desempeñan el control y el monitoreo de la cognición en el cerebro humano desde un punto de vista más fisiológico y menos especulativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adcock, R. A., Constable, R. T., Gore, J. C., y Goldman-Rakic, P. S. (2000). Functional neuroanatomy of executive processes involved in dual-task performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(7), 3567–3572.
- Antaki, C., y Lewis, C. (1986). Mental mirrors: Metacognition in social knowledge. En: C. Antaki, y C. Lewis (Eds), *Mental mirrors: Metacognition in social knowledge* (p 1 – 10). London: Sage Publications Ltd.
- Antonietti, A., Ignazi, S., y Perego, P. (2000). Metacognitive knowledge about problem-solving methods. *British Journal of education Psychology*, 70, 1 – 16.
- Awh, E., y Jonides, J. (2001). Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 119–126
- Babbs, P. y Moe, A. (1983). Metacognition: A key for independent learning from text. *The reading teacher*, 35, 422 – 426.
- Baddeley, A. D., y Hitch, G. J. (1974). Working memory. En G. A. Bower (Ed.), *Recent Advances in Learning and Motivation*, Vol. 8 (pp. 47–89). New York: Academic Press
- Baddeley, A. (2003). Working memory and language: An overview. *Journal of Communications Disorders*, 36, 189–208.
- Badre, D., y Wagner, A. D. (2005). Frontal lobe mechanisms that resolve proactive interference. *Cerebral Cortex*, 15, 2003–2012

- Baker, L. (1991). Metacognition, reading and science education En C. M. Santa y Alvermann (Eds.) *Science Learning*. Newark, Delaware: I.R.A
- Baker, S. C., Rogers, R. D., Owen, A. M., Frith, C. D., Dolan, R. J., rackowiak, R. S. J., et al. (1996). Neural systems engaged by planning: A PET study of the Tower of London task. *Neuropsychologia*, 34, 515–526
- Baker L. Metacognition. En: V. G. Aukrust (Ed.) *Learning and Cognition in Education*. Kidlington, Oxford: Elsevier; 2011. p. 128-36.
- Baldo, J. V., y Shimamura, A. P. (2000). Spatial and color working memory in patients with lateral prefrontal cortex lesions. *Psychobiology*, 28, 156–167
- Bangert-Drowns, R. L., y Rudner, L. M. (1991). *Meta-analysis in educational research*. (ERIC Document Reproduction Service No. ED339748).
- Barón Birchenall, L. F. (2009). Introducción al estudio del cambio conceptual. *Revista Iberoamericana de Psicología: Ciencia y Tecnología* 2,2, 75-83.
- Bechara, A., Damasio, A., Damasio, H., Anderson, S.W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50, 7-15.
- Bechara, A., Damasio, H., Damasio, A.R., Lee, G.P. (1999). Different Contributions of the Human Amygdala and Ventromedial Prefrontal Cortex to Decision-Making. *The Journal of Neuroscience*, 19(13), 5473-5481.
- Bechara, A., Tranel, D. y Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortexlesions. *Brain*, 123 (11), 2189–2202

- Bechara, A., Damasio, H. (2002). Decision-making and addiction (part I): impaired activation of somatic states in substance dependent individuals when pondering decisions with negative future consequences. *Neuropsychologia*, 40, 1675-1689
- Bechara, A., Damasio, A. (2005). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games and Economic Behavior*, 52 336- 372.
- Bello, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación Química* 15, 3, 210 – 217.
- Berman, K. F., Ostrem, J. L., Randolph, C., Gold, J., Goldberg, T. E., Coppola, R., et al. (1995). Physiological activation of a cortical network during performance of the Wisconsin card sorting test: A positron emission tomography study. *Neuropsychologia*, 33, 1027–1046
- Blair, C. (2006) How similar are fluid cognition and general intelligence? A developmental neuroscience perspective on fluid cognition as an aspect of human cognitive ability *Behav. Brain Sci.* 29, 109–125
- Blakemore, S.-J., den Ouden, H., Choudhury, S., y Frith, C.D. (2007). Adolescent development of the neural circuitry for thinking about intentions . *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2, 130 – 139
- Blaxton, T. A., Zeffiro, T. A., Gabrieli, J. D. E., Bookheimer, S. Y., Carrillo, M. C., Theodore, W. H., et al (1996). Functional mapping of human learning: A positron emission tomography activation study of eyeblink conditioning. *Journal of Neuroscience*, 16, 4032–4040
- Bogdan, R. C., y Biklen, S. K. (1998). *Qualitative research for education: An Introduction to theory and methods*. (3rd Ed.). Boston, MA: Allyn y Bacon.

- Botvinick, M., Nystrom, L. E., Fissell, K., Carter, C. S., y Cohen, J. D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, 402, 179–181.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., y Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624–652
- Botvinick, M. M., Cohen, J. D., y Carter, C. S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in Cognitive Science*, 8, 539–546.
- Boyd, G. (1993). A theory of distance education for the cyberspace era. In Keegan, D. (Ed.), *Theoretical principles of distance education* (pp. 234-253). New York, NY: Routledge.
- Braver, T. S., Barch, D. M. (2006). Extracting core components of cognitive control. *Trends Cogn Sci*, 10, 529–532
- Brown, A. (1985) "Metacognition. The Development of selective Attention Strategies for Learning from text" En H. Singer, y R. Rudell (Eds.), *Theoretical Models and Processes of reading* International Reading Association Inc: Delavare (pp.285-301).
- Brown, A. (1987) "Metacognition, Executive Control, Self Regulation and other more mysterious mechanisms" En Weinert, F. y Kluwe, R. (Eds.) *Metacognition, Motivation and Understanding*. Broadway: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers (pp. 65-116).
- Brown, R, y McNeil, D. (1966). The tip of the tongue phenomenon. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 5, 325 – 337.
- Bunge, S. A., Klingberg, T., Jacobsen, R. B., y Gabrieli, J. D. E. (2000). A resource model of the neural basis of executive working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(7), 3573–3578.

- Burgess, P. (1997). Theory and methodology in executive function research. En: P. Rabbit (Ed.) *Methodology of frontal and executive function*, p 81–116. Hove, UK: Psychology
- Burgess, N., Maguire, E. A., Spiers, H. J., y O’Keefe, J. (2001). A temporoparietal and prefrontal network for retrieving the spatial context of lifelike events. *Neuroimage*, 14, 439–453
- Burgess, P.W., Quayle, A., y Frith, C. D. (2001). Brain regions involved in prospective memory as determined by positron emission tomography. *Neuropsychologia* 39, 545–555
- Burgess, P.W., Scott, S. K., y Frith, C. D. (2003). The role of the rostral frontal cortex (area 10) in prospective memory: A lateral versus medial dissociation. *Neuropsychologia*, 41, 906–918
- Burgess, P. W., Simons, J. S., Dumontheil, I., Gilbert, S. J. (2005). The gateway hypothesis of rostral prefrontal cortex (area 10) function. En: Duncan J, Phillips L, McLeod P (Eds.) *Measuring the Mind: Speed, Control, and Age*. Oxford: Oxford University Press; p. 217 – 48.
- Burgess, G. C., Gray, J. R., Conway, A. R. A., y Braver, T. S. (2011) Neural mechanisms of interference control underlie the relationship between fluid intelligence and working memory span. *J. Exp. Psychol*, 140(4), 674-92.
- Bush, G., Luu, P., y Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in the anterior cingulated gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 215–222.
- Bush, G., Whalen, P. J., Rosen, B. R., Jenike, M. A., McInerney, S. C., y Rauch, S. L. (1998). The counting Stroop: An interference task specialized for functional neuroimaging—Validation study with functional MRI. *Human Brain Mapping*, 6, 270–282.

- Cabeza, R., y Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 pet and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12 (1), 1–47.
- Carlberg, C. G., y Walberg, H. J. (1984). Techniques of research synthesis. *The Journal of Special Education*, 18(1), 11-26.
- Carlson, S. M., Moses, L. J., y Hix, H. R. (1998). The role of inhibitory processes in young children's difficulties with deception and false belief. *Child Development*, 69, 672–691
- Carpenter, P. A., Just, M. A., y Reichle, E. D. (2000). Working memory and executive function: Evidence from neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology*, 10, 195–199.
- Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D., y Cohen, J. D. (1998). Anterior cingulate cortex, error detection, and the on-line monitoring of performance. *Science*, 280, 747– 749.
- Carter, C. S., Botvinick, M. M., y Cohen, J. D. (1999). The contribution of the anterior cingulate to executive processes in cognition. *Reviews in Neuroscience* 10, 49–57.
- Casey, B. J., Trainor, R. J., Orendi, J. L., Schubert, A. B., Nystrom, L. E., Giedd, J. N., Castellanos, F. X., Haxby, J. V., Noll, D. C., Cohen, J. D., Forman, S. D., Dahl, R. E., y Rapoport, J. L. (1997). A developmental function MRI study of prefrontal activation during performance of a go–no-go task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 835–847.
- Casey, B. J., Trainor, R., Giedd, J., Vauss, Y., Vaituzis, C. K., Hamburger, S., Kozuch, P., y Rapoport, J. L. (1997). The role of the anterior cingulate in automatic and controlled processes: A developmental neuroanatomical study. *Developmental Psychobiology*, 30, 61–69

- Chao, L. L., y Knight, R. T. (1998). Contribution of human prefrontal cortex to delay performance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 167–177
- Chi, M., Slotta, J., de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43
- Christoff, K., Prabhakaran, V., Dorfman, J., Zhao, Z., Kroger, J. K., Holyoak, K. J., et al. (2001). Rostrolateral prefrontal cortex involvement in relational integration during reasoning. *Neuroimage*, 14, 1136–1149.
- Chua, E. F., Schacter, D. L., Rand-Giovannetti, E., y Sperling, R. A. (2006). Understanding metamemory: Neural correlates of the cognitive process and subjective level of confidence in recognition memory. *NeuroImage*, 29, 1150–1160.
- Cohen, J. D., Perlstein, W. M., Braver, T. S., Nystrom, L. E., Noll, D. C., Jonides, J., et al. (1997). Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, 386, 604–608
- Cole, M.W., Yeung, N., Freiwald, W. A., and Botvinick, M. (2010). Conflict over cingulate cortex: between species differences in cingulate may support enhanced cognitive flexibility in humans. *Brain Behav. Evol.* 75, 239–240.
- Cole, M. W., Etzel, J. A., Zacks, J. M., Schneider, W., Braver, T. S. (2011). Rapid transfer of abstract rules to novel contexts in human lateral prefrontal cortex. *Frontiers in human neuroscience*, 5, 142
- Cole, M. W., Bagic, A., Kass, R., Schneider, W. (2010). Prefrontal Dynamics Underlying Rapid Instructed Task Learning Reverse with Practice. *The Journal of Neuroscience*, 30 (42), 14245-14254

- Cook D. J., Sackett D. L., y Spitzer W. O. (1995). Methodologic guidelines for systematic reviews of randomised control trials in health care from the Potsdam consultation on meta-analysis. *Journal of Clinical Epidemiology*, 48, 167-171.
- Cooper, H., y Hedges, L. V. (1994). Research synthesis as a scientific enterprise. In Cooper H. y Hedges, L.V. (Eds.), *The handbook of research synthesis*, (pp 3-14). New York: Russell Sage Foundation.
- Corbin, J., y Strauss, A. (1990). Grounded theory research: Procedures, canons, and evaluative criteria. *Qualitative Sociology*, 13, 3-21.
- Damasio AR, Tranel D, Damasio H. (1990). Individuals with sociopathic behavior caused by frontal damage fail to respond autonomically to social stimuli. *Behav Brain Res*, 41, 81-94;
- Damasio, A.R., Tranel D. y Damasio, H. (1991) Somatic markers and the guidance of behavior: theory and preliminary testing, En H.S. Levin, H.M. Eisenberg, A.L. Benton (Eds.). *Frontal lobe function and dysfunction*, Oxford University Press, New York (1991), pp. 217–229.
- Damasio, A. R., (1994). *Descartes error: emotion, reason and the human brain*, Avon, New York.
- Damasio, A. R., Damasio H, (1995). Cortical systems for retrieval of concrete knowledge: the convergence zone framework. En C. Koch, J. L. David (Eds.) *Large-scale neuronal theories of the brain*. Cambridge: MIT Press; p. 61-74;
- Damasio A. R. (1998). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. En A. C. Roberts, T. W. Robbins, L. Weiskrantz, (Eds.). *The frontal cortex: executive and cognitive functions*. New York: Oxford University Press; p. 36-50

- Davies, H. T. O., y Crombie, I. K. (2001). *What is a systematic review?* Consultado en Agosto de 2011, En <http://www.evidence-basedmedicine.co.uk/ebmfiles/WhatisSystreview.pdf>
- Dehaene, S., Changeux, J.P. (1997). A hierarchical neuronal network for planning behavior. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 94, 13293–13298.
- Delors, J. (1996). *La Educación encierra un tesoro*. Informe de la Comisión de la UNESCO para la Educación en el Siglo XXI. México: UNESCO.
- Denzin, N. K., y Lincoln, Y. S. (1994). *Handbook of qualitative research*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Desoete, A., Roeyers, H., y Buysse, A., (2001). Metacognition and mathematical problem solving in grade 3. *Journal of learning Disabilities*, 34(5), 435 – 449.
- D’Esposito, M., Detre, J. A., Alsop, D.C., y Shin, R. K. (1995). The neural basis of the central executive system of working memory. *Nature*, 378(6554), 279–281.
- D’Esposito, M., Postle, B. R., Jonides, J., y Smith, E. E. (1999). The neural substrate and temporal dynamics of interference effects in working memory as revealed by event-related functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 7514–7519;
- D’Esposito, M., Postle, B. R., y Rypma, B. (2000). Prefrontal cortical contributions to working memory: evidence from event-related fMRI studies. *Experimental Brain Research*, 133, 3–11
- Dinsmore, D.L., Alexander, P. A., Loughlin, S.M. (2008). Focusing the Conceptual Lens on Metacognition, Self-regulation, and Self-regulated Learning. *Educ Psychol Rev.*;20, 391–409.

- diSessa, A., y Sherin, B. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20, 1155-191.
- Dodson, C. S., y Shimamura, A. P. (2000). Differential effects of cue dependency on item and source memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26, 1023–1044
- Dumontheil, I., Burgess, P. W., y Blakemore, S.-J. (2008). Development of rostral prefrontal cortex and cognitive and behavioural disorders. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 50, 168 – 181
- Dunbar, K. N., Fugelsang, J. A., Stein, C. (2007) Do Naïve theories ever go away? Using Brain and Behaviour to Understand Changes in Concepts. *Cognitive Brain Research* 24, 41– 47
- Duncan, J. (2000). A neural basis for general intelligence. *Science* 289, 457–460
- Dunlosky, J., y Nelson, T. O. (1994). Does the sensitivity of judgments of learning (JOLs) to the effects of various study activities depend on when JOLs occur? *Journal of Memory and Language*, 33, 545–565
- Easterby-Smith, M., Thorpe, R., y Lowe, A. (1991). *Management research: An introduction*. London: Sage.
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of Management Review*, 14, 532-550.
- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. S., y Kramer, A. F. (2005). *Neural correlates of dual-task performance after minimizing taskpreparation*. Unpublished manuscript, Urbana.

- Erlich, M. (1999). Metacognitive monitoring of text cohesion in children. En H. van Oostendorp y S. Goldman (Eds.) *The construction of mental representation during reading*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, p. 281 – 301.
- Ernst, M., Paulus, M.P. (2005). Neurobiology of Decision Making: A Selective Review from a Neurocognitive and Clinical Perspective. *Biol Psychiatry*, 58, 597-604.
- Eysenck, H. J. (1984). Meta-analysis: An abuse of research integration. *The Journal of Special Education*, 18(1), 41-59.
- Fernandez-Duque, D., Baird, J. A., y Posner, M. I. (2000). Executive Attention and Metacognitive Regulation. *Consciousness and Cognition*, 9, 288 – 307.
- Fischer, K. W. y Bidell, T. (2006). Dynamic development of action and thought. En W. Damon, y R. Lerner, (Eds.) *Handbook of Child Psychology: Volume 1. Theoretical Models of Human Development*, 6ta ed, pp 313–399. Hoboken, NJ: Wiley
- Fischer, K. W., Bernstein, J. H., y Immordino-Yang, M. H. (Eds.) (2007). *Mind, Brain and Education in Reading Disorders*. Cambridge: Cambridge University Press
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring. *American Psychologist*, 34, 906-911
- Flavell, J. H., Miller, P. H., y Miller, S. A. (1993). *Cognitive development* (4th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Fleming, S. M., y Dolan, R. J. (2012). The neural basis of metacognitive ability. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 367, 1338–1349.

- Flores, F. (2004). El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas. *Educación Química* 15,3, 256 – 269.
- Friston, K. (2005). A theory of cortical responses. *Phil. Trans. R. Soc. B* 360, 815–836
- Frith, U., y Frith, C. D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 358(1431), 459–473
- Fuster, J. M. (2003). *Cortex and Mind. Unifying Cognition*. United States of America: Oxford University Press.
- Fugelsang, J., y Dunbar, K. (2005). Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking. *Neuropsychologia*, 48, 1204-1213.
- Garavan, H., Ross, T. J., Li, S. J., y Stein, E. A. (2000). A parametric manipulation of central executive functioning. *Cerebral Cortex*, 10, 585–592.
- Garner, R. (1994). Metacognition and executive control. In R. B. Ruddell y M. R. Ruddell (Eds.), *Theoretical models and processes of reading* (pp. 715–732). Newark, DE: International Reading Association
- Georghiades, P. (2004). From general to the situated: Three decades of metacognition. *International Journal of Science Education*, 26 (3), 365 – 383.
- Gershberg, F. B., y Shimamura, A. P. (1995). Impaired use of organizational strategies in free recall following frontal lobe damage. *Neuropsychologia*, 33, 1305–1333
- Gilbert, S. J. y Burgess, P. W. (2008). Social and Nonsocial Functions of Rostral Prefrontal Cortex: Implications for Education. *Mind, Brain, and Education*, 3(2), 148 – 156.

Glaser, B. G., y Strauss, A. L. (1967). *The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research*. Chicago: Aldine Publishing Company.

Glaser, B. G. (1978). *Theoretical Sensitivity: Advances in the methodology of grounded theory*. Mill Valley, CA: Sociology Press.

Glaser, B. G. (1998). *Doing grounded theory: Issues and discussions*. Mill Valley, CA: Sociology Press.

Glass, G. V. (1976). Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational Researcher*, 5, 3-8.

Glass, G.V. (1978). Integrating findings: The meta-analysis of research. *Review of Research in Education*, 5, 351-79

Goel V, Gold B, Kapur S, Houle S. (1997) The seats of reason? An imaging study of deductive and inductive reasoning. *Neuroreport*, 8, 1305-10

Goel V, Grafman J. (2000). The role of the right prefrontal cortex in ill-structured problem solving. *Cogn Neuropsychol*, 17, 415-36

Gold, J. M., Berman, K. F., Randolph, C., Goldberg, T. E., y Weinberger, D. R. (1996). PET validation of a novel prefrontal task: Delayed response alternation. *Neuropsychology*, 10, 3–10.

Gottfredson, L. S. (2002). “g: Highly general and highly practical,” En *The General Factor of Intelligence: How General is it?* Chap.13, 331–380.

- Gottfredson, L., y Saklofske, D. H. (2009) Intelligence: foundations and issues in assessment. *Can. Psychol.* 50, 183–195
- Gourgey, A. F. (1998). Metacognition in basic skills instruction. *Instructional Science*, 26(1-2), 81- 96.
- Grady, C. L. (1999). Neuroimaging and activation of the frontal lobes. In B. L. Miller y J. L. Cummings (Eds.), *The human frontal lobes: Function and disorders* (pp. 196–230). New York: Guilford Press
- Hacker, D. J., Bol, L., Keener, M.C. (2008). Metacognition in Education: A Focus on Calibration. En: J Dunlosky, R. A. Bjork (Eds.). *Handbook of Metamemory and Memory*. New York: Taylor y Francis Group; p. 429 - 56
- Harlow, J. M. (1868). Recovery from the passage of an iron bar through the head. *Massachusetts Medical Society Publications*, 2, 327-346
- Hart, J. T. (1965). Memory and the feeling of knowing experience. *Journal of Educational Psychology*, 56, 208 – 216.
- Hartman, H. J. (2001). *Metacognition in Learning and Instruction: Theory, Research and Practice*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Hartman, H. J. y Sternberg, R. J. (1993). A broad BACEIS for improving thinking. *Instructional Science*, 21, 401 – 425.
- Haxby, J.V., Ungerleider, L. G., Horwitz, B., Maisog, J. M., Rapoport, S. I., y Grady, C. L. (1996). Storage and retrieval of new memories for faces in the intact human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 93, 922–927

- Hazeltine, E., Grafton, S. T., y Ivry, R. (1997). Attention and stimulus characteristics determine the locus of motor-sequence encoding. A pet study. *Brain*, *120*, 123–140.
- Hempel, A., Giesel, F. L., Garcia Caraballo, N. M., Amann, M., Meyer, H., Wustenberg, T., Essig, M., y Schroder, J. (2004). Plasticity of cortical activation related to working memory during training. *American Journal of Psychiatry*, *161*(4), 745–747.
- Herath, P., Klingberg, T., Young, J., Amunts, K., y Roland, P. (2001). Neural correlates of dual task interference can be dissociated from those of divided attention: An fMRI study. *Cerebral Cortex*, *11*, 796–805.
- Herrmann, E., Call, J., Hernandez-Lloreda, M. V., Hare, B., and Tomasello, M. (2007). Humans have evolved specialized skills of social cognition: The cultural intelligence hypothesis. *Science* *317*(5843), 1360–1366.
- Hestenes, D., Wells, W., Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, *30*, 141-158.
- Hill, N. M., y Schneider, W. (2005). *Changes in neural activation related to dual-task practice: Evidence for a domain general learning network*. Poster presented at the 11th annual meeting of Human Brain Mapping. Toronto, ON.
- Hirst, W. (1982). The amnesic syndrome: descriptions and explanations. *Psychol. Bull.* *91*, 435–460
- Honda, M., Deiber, M. P., Ibanez, V., Pascual- Leone, A., Zhuang, P., y Hallett, M. (1998). Dynamic cortical involvement in implicit and explicit motor sequence learning. A PET study. *Brain*, *121*, 2159–2173.
- Hossler, D., y Scalese-Love, P. (1989). Grounded meta-analysis: A guide for research synthesis. *The Review of Higher Education*, *13*(1), 1-28.

- Hugdahl, K., Beradi, A., Thomson, W. I., Kosslyn, S. M., Macy, R., Baker, D. P., et al. (1995). Brain mechanisms in human classical conditioning: A PET blood flow study. *Neuroreport*, 6, 1723–1728
- Hughes, C. (1998). Executive function in preschoolers: Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, 16, 233–253
- Immordino-Yang, M. H. (2007). A tale of two cases: Lessons for education from the study of two boys living with half their brains. *Mind, Brain and Education* 1(2), 66–83
- Immordino-Yang, M. H. (2008). The smoke around mirror neurons: Goals as sociocultural and emotional organizers of perception and action in learning. *Mind, Brain, and Education* 2(2), 67–73
- Jackson, G. B. (1980). Methods for integrative reviews. *Review of Educational Research*, 50 (3), 438–460.
- Jaeggi, S. M., Seewer, R., Nirkko, A. C., Eckstein, D., Schroth, G., Groner, R., y Gutbrod, K. (2003). Does excessive memory load attenuate activation in the prefrontal cortex? Load dependent processing in single and dual task: functional magnetic resonance imaging study. *NeuroImage*, 19, 210–225.
- Janowsky, J. S., Shimamura, A. P., Kritchevsky, M. y Squire, L. R. (1989). Cognitive impairment following frontal lobe damage and its relevance to human amnesia. *Behav. Neurosci.* 103, 548
- Jenkins, I. H., Brooks, D. J., Nixon, P. D., Frackowiak, R. S. J., y Passingham, R. E. (1994). Motor sequence learning: A study with positron emission tomography. *Journal of Neuroscience*, 14, 3775–3790
- Jennings, J. M., McIntosh, A. R., Kapur, S., Tulving, E., y Houle, S. (1997). Cognitive subtractions may not add up: The interaction between semantic processing and response mode. *Neuroimage*, 5, 229–239

- Jonides, J., Smith, E. E., Marshuetz, C., Koeppe, R. A., y Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Inhibition in verbal working memory revealed by brain activation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 8410–8413
- Just, M. A., Carpenter, P. A., Keller, T. A., Emery, L., Zajac, H., y Thulborn, K. R. (2001). Interdependence of nonoverlapping cortical systems in dual cognitive tasks. *Neuroimage*, 14, 417– 426.
- Kao, Y.-C., Davis, E. S., y Gabrieli, J. D. E. (2005). Neural correlates of actual and predicted memory formation. *Nature Neuroscience*, 8, 1776–1783.
- Karni, A., Meyer, G., Jezzard, P., Adams, M. M., Turner, R., y Ungerleider, L. G. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature*, 377, 155–158.
- Klein, D., Milner, B., Zatorre, R. J., Meyer, E., y Evans, A. C. (1995). The neural substrates underlying word generation: A bilingual functional-imaging study. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 92, 2899–2903
- Kerlins, B. A. (1998). *Pursuit of the Ph.D.: Is it good for your health?* Paper presented at the 4th International Multidisciplinary Qualitative Health Research Conference Vancouver, British Columbia, Canada, February 19-21, 1998. Consultado en agosto de 2011 En <http://kerlins.net/bobbi/research/myresearch/health.html>
- Khan, K. S., Daya, S., y Jadad, A. R. (1996). The importance of quality of primary studies in producing unbiased systematic reviews. *Arch Intern Med*, 156, 661– 666.
- Klingberg, T. (1998). Concurrent performance of two working memory tasks: Potential mechanisms of interference. *Cerebral Cortex*, 8, 593– 601.

- Klingberg, T., Forssberg, H., y Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with adhd. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), 781–791.
- Kluwe, R. H. (1982). Cognitive knowledge and executive control: Metacognition. En: D. R. Griffin (Ed.), *Animal Mind – Human Mind* (p. 201 – 224). New York: Springer-Verlag.
- Knight, C. y Fischer, K. W. (1992). Learning to read words: Individual differences in developmental sequences. *Journal of Applied Developmental Psychology* 13, 377–404
- Koechlin, E., Basso, G., Pietrini, P., Panzer, S., y Grafman, J. (1999). The role of the anterior prefrontal cortex in human cognition. *Nature*, 399(6732), 148–151
- Koechlin, E. y Hyafil, A. 2007 Anterior prefrontal function and the limits of human decision-making. *Science* 318, 594–598
- Koriat, A. (2012). The relationships between monitoring, regulation and performance. *Learning and Instruction*, 22, 296 - 298.
- Kosslyn, S. M., Alpert, N. M., y Thompson, W. L. (1995). Identifying objects at different levels of hierarchy: A positron emission tomography study. *Human Brain Mapping*, 3, 107–132
- Kuhn D. y Dean J. D. (2004). Metacognition: A Bridge Between Cognitive Psychology and Educational Practice. *Theory into practice*, 43, 268-273.
- Laird, A. R., Fox, M., Price, C. J., Glahn, D. C., Uecker, A., M., y Lancaster, J. L. (2005). ALE Meta-Analysis: Controlling the False Discovery Rate and Performing Statistical Contrasts. *Human Brain Mapping*, 25, 155–64.

- Landau, S. M., Schumacher, E. H., Garavan, H., Druzgal, T. J., y D'Esposito, M. (2004). A functional mri study of the influence of practice on component processes of working memory. *Neuroimage*, 2, 2, 211-221.
- Letelier S. L. M., Manríquez, M. J. J., y Rada, G. G. (2005). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: ¿son la mejor evidencia? *Boletín de la Escuela De Medicina*, 30(2), 37-39
- Lewin, K. (1946) Action research and minority problems. *Journal of Social Issues*, 2 (4), 34-46
- Lezak, M. D. (1982). The problem of assessing executive functions. *Int J Psychol*, 17, 281-97
- Lezak, M. D. (1987). Relationship between personality disorders, social disturbances and physical disability following traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabilitation*, 2, 57-69.
- Light, R. J., y Pillemer, D. B. (1982). Numbers and narrative: Combining their strengths in research reviews. *Harvard Educational Review*, 52(1), 1-26.
- Luria, A. R. (1988). *El cerebro en acción*. 5ª ed. Barcelona: Martínez Roca; p. 43-99.
- Luria, A., Pribram, K. M., Homskaya E.D. (1964). An experimental analysis of the behavioral disturbance produced by a left frontal arachnoidal endothelioma. *Neuropsychologia*, 2, 257-80.
- Lynham, S. A. (2000). Theory building in the human resource development profession. *Human Resource Development Quarterly*, 11(2), 159-178.

- Maki, R. H., y McGuire, M. J. (2002). Metacognition for text: Findings and implications for education. En T. J. Perfect y B. L. Schwartz (Eds.), *Applied metacognition* (pp. 39–67). New York: Cambridge University Press
- Mandler, G. (1980). Recognizing: The judgment of previous occurrence. *Psychological Review*, 87, 252–271
- Marcantoni, W. S., Lepage, M., Beaudoin, G., Bourgouin, P., y Richer, F. (2003). Neural correlates of dual task interference in rapid visual streams: An fMRI study. *Brain and Cognition*, 53, 318–321.
- Maril, A., Wagner, A. D., y Schacter, D. L. (2001). On the tip of the tongue: An event-related fMRI study of semantic retrieval failure and cognitive conflict. *Neuron*, 31, 653–660
- Maril, A., Simons, J. S., Weaver, J. J., y Schacter, D. L. (2005). Graded recall success: an event-related fMRI comparison of tip of the tongue and feeling of knowing. *NeuroImage*, 24, 1130–1138
- Martí, E. (1995). Metacognición: entre la fascinación y el desencanto. *Infancia y Aprendizaje*, 72, 9 – 32.
- Martin, P. Y., y Turner, B. A. (1986). Grounded theory and organisational research. *Journal of Applied Behavioural Science*, 22, 141-157.
- Mazzoni, G., y Nelson, T. (1998). *Metacognition and cognitive neuropsychology: Monitoring and control processes*. Mahah, NJ: Erlbaum.; Metcalfe, J., y Shimamura, A. P. (Eds.). (1994). *Metacognition: Knowing about knowing*. Cambridge, MA: MIT Press
- McClelland, J. L. (2009). Is a machine realization of truly human-like intelligence achievable? *Cognit. Comput* 1, 17–21

- Meacham, J. A. y Emont, N. C. (1989). The interpersonal basis of everyday problema solving. En J. D. Sinnott (Ed), *Everyday Problem Solving: Theory and Applications* (p. 7 – 23). New York: Praeger.
- Merriam, S. B (1998). *Qualitative research and case study applications in education*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Meyer, D. E., y Kieras, D. E. (1997). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part I. Basic mechanisms. *Psychological Review*, 104, 2–65.
- Miller, G. A. (2003). The cognitive revolution: A historical perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 141–144.
- Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A, Wager TD. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex frontal lobe tasks: a latent variable analysis. *Cognit Psychol*, 41, 49-100.
- Miyake A, Friedman NP, Rettinger DA, Shah P, Hegarty M. (2001) How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *J Exp Psychol Gen*, 130, 621-40.
- Modirrousta, M. y Fellows, L. K. (2008) Medial prefrontal cortex plays a critical and selective role in ‘feeling of knowing’ meta-memory judgments. *Neuropsychologia* 46, 2958–2965.
- Monsell, S. (1996). Control of mental processes. En V. Bruce (Ed.). *Unsolved mysteries of the mind: tutorial essays in cognition*, p 93–148. Hove, UK: Erlbaum
- Montori, V., y Guyatt, G. (2002) Publication bias. En *Users’s Guide to the Medical Literature. A Manual for Evidence-Based Clinical Practice*. Chicago: AMA Press

- Montori, V., Smieja, M., y Guyatt G. (2000). Publication bias: A brief review for clinicians. *Mayo Clin Proc*, 75, 1284-8.
- Moore, J. (1999). *Some basic concepts in meta-analysis*. (ERIC Document Reproduction Service No. ED426101).
- Moreno, A. (1995). Autorregulación y solución de problemas: un punto de vista psicogenético. *Infancia y Aprendizaje*, 72, 51 – 70.
- Moses, L. J., y Baird, J. A. (1999). Metacognition. En R. Wilson (Ed.), *Encyclopedia of cognitive neuroscience* Cambridge, MA: MIT Press
- Nelson, T. O., y Narens, L. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. En G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 26). New York: Academic Press.
- Nelson, T. O., y Narens, L. (1994). Why investigate metacognition. En J. Metcalfe y A. P. Shimamura (Eds.), *Metacognition: Knowing about knowing*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Olesen, P. J., Westerberg, H., y Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7, 75–79.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., y Bullmore, E. (2005). N-Back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping. Special Issue: Meta-Analysis in Functional Brain Mapping*, 25, 46–59
- Paller, K. A., y Wagner, A. D. (2002). Observing the transformation of experience into memory. *Trends in Cognitive Science*, 6, 93–102

- Pandit, N. R. (1996). *The Creation of Theory: A Recent Application of the Grounded Theory Method*. The Qualitative Report, 2 (4). Consultado en mayo de 2011 En www.nova.edu/ssss/QR/QR2-4/pandit.html
- Pannu, J. y Kaszniak, A. (2005) Metamemory experiments in neurological populations: a review. *Neuropsychol. Rev.* 15, 105–130
- Paris, S. G. y Winograd, P (1990). How metacognition can promote academic learning and instruction. En: B. F. Jones y L. Idol (Eds.). *Dimensions of Thinking and Cognitive Instruction* (p. 15 – 51). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Pashler, H (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116, 220–244.
- Peterson, B. S., Skudlarski, P., Gatenby, J. C., Zhang, H., Anderson, A. W., y Gore, J. C. (1999). An fMRI study of Stroop word-color interference: Evidence for cingulate subregions subserving multiple distributed attentional systems. *Biological Psychiatry*, 45, 1237–1258.
- Pettersson, K.M., Elfgren, C., Ingvar, M. (1999) Dynamic changes in the functional anatomy of the human brain during recall of abstract designs related to practice, *Neuropsychologia* 37 567– 587.
- Petrides, M., Alivisatos, B., Meyer, E., y Evans, A. C. (1993). Functional activation of the human frontal cortex during the performance of verbal memory tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 90, 878–882
- Pinon, K., Allain, P., Kefi, M. Z., Dubas, F., y Le Gall, D. (2005). Monitoring processes and metamemory experience in patients with dysexecutive syndrome. *Brain and Cognition*, 57, 185–188

- Poldrack, R. A. (2000). Imaging brain plasticity: Conceptual and methodological issues. *Neuroimage*, 12, 1–13.
- Posner, M. I., y Raichle, M. E. (1996). *Images of mind*. New York: Freeman.
- Posner, M. I., y Rothbart, M. K. (1998). Attention, self regulation and consciousness. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 353, 1915–1927.
- Posner, M. I., y McCandliss, B. D. (1999). Brain circuitry during reading. In R. Klein y P. McMullen (Eds.) *Converging methods for understanding reading and dyslexia* (pp. 305–337). Cambridge MA: MIT Press
- Postle, B. R., y Brush, L. N. (2004). The neural bases of the effects of item-nonspecific proactive interference in working memory. *Cognitive Affective Behavior Neuroscience*, 4, 379–392
- Pozo, J. I. (1990). Estrategias de Aprendizaje. En J. Palacios, A. Marchesi, y C. Coll, (Comp.) *Desarrollo Psicológico y Educación. Tomo I: Psicología Evolutiva*. Madrid: Alianza Editorial, S. A., Capítulo 12, pp 199-221.
- Pozo, J. (1999). Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 3, 503-512
- Pozo, J., Gómez, M., y Sanz, A. (1999). When change does not mean replacement: Different representations for conceptual change, En: *New Perspectives on Conceptual Change*, Schnotz S., Vosniadou, S y Carretero M (eds.), Pergamon, Gran Bretaña, p. 161-174.

- Prabhakaran, V., Smith, J. A., Desmond, J. E., Glover, G. H., y Gabrieli, J. D. (1997). Neural substrates of fluid reasoning: An fMRI study of neocortical activation during performance of the Raven's Progressive Matrices test. *Cognitive Psychology*, 33, 43–63.
- Raichle, M. E., Fiez, J. A., Videen, T. O., MacLeod, A.-M. K., Pardo, J. V., Fox, P. T., y Petersen, S. E. (1994). Practice-related changes in human brain functional anatomy during nonmotor learning. *Cerebral Cortex*, 4, 8–26.
- Reder, L. Y., y Schunn, C. D. (1996). Metacognition does not imply awareness: Strategy choice is governed by implicit learning and memory. In L. Y. Reder (Ed.), *Implicit memory and metacognition*. Mahwah, NJ: Erlbaum
- Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., y Yiend, J. (1997). “Ooops!”: Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, 35, 747–758.
- Rogers, E. M. (1985). Methodology for meta-research. In H. H. Greenbaum, S. A. Hellweg, y J. W. Walter (Eds.), *Organizational communication: Abstracts, analysis, and overview*, 10. Beverly Hills, CA: Sage.
- Rugg, M. D., Fletcher, P. C., Frith, C. D., Frackowiak, R. S. J., y Dolan, R. J. (1996). Differential activation of the prefrontal cortex in successful and unsuccessful memory retrieval. *Brain*, 119, 2073–2084
- Sandelowski, M., Docherty, S., y Emden, C. (1997). Qualitative metasynthesis: Issues and techniques. *Research in Nursing and Health*, 20, 365-371.
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structures*. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press;
- Stuss, D. T., y Benson, D. F. (1986). *The frontal lobes*. New York: Raven

- Shannon, B. J., y Buckner, R. L. (2004). Functional-anatomic correlates of memory retrieval that suggest nontraditional processing roles for multiple distinct regions within posterior parietal cortex. *Journal of Neuroscience*, 24, 10084–10092.
- Schneider, W., y Chein, J. M. (2003). Controlled y automatic processing: Behavior, theory, and biological mechanisms. *Cognitive Science*, 27, 525–559
- Schnyer, D. M., Verfaellie, M., Alexander, M. P., LaFleche, G., Nicholls, L., y Kaszniak, A. W. (2004). A role for right medial prefrontal cortex in accurate feeling-of-knowing judgements: Evidence from patients with lesions to frontal cortex. *Neuropsychologia*, 42, 957–966
- Schoenfeld, A. H. (1987). What's all the fuss about metacognition? En: A. H. Schoenfeld (Ed.), *Cognitive Science and Mathematics Education* (p. 189 – 215). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sholberg, M. M., y Mateer, C. A. (1989). Remediation of executive functions impairments. En M. M. Sholberg, C. A. Mateer, (Eds.). *Introduction to cognitive rehabilitation*. New York: The Guilford Press; p. 232-63
- Schraw, G. (2001). Promoting general metacognitive awareness. En: *Metacognition in Learning and Instruction: Theory, Research and Practice* (p. 3 – 16). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers
- Schreiber, R., Crooks, D., y Stern, P. (1997). Qualitative meta-analysis. En J. M. Morse (Ed.). *Completing a qualitative research project: Details and dialogue*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Schwartz, B. y Bacon, E. (2008) Metacognitive neuroscience. En J. Dunlosky y R. Bjork (Eds). *Handbook of memory and metamemory*, pp. 355–371. New York, NY: Psychology Press.

- Semendeferi , K. , Armstrong , E. , Schleicher , A. , Zilles , K. , y Van Hoesen , G. W . (2001). Prefrontal cortex in humans and apes: A comparative study of area 10. *American Journal of Physical Anthropology* , 114 , 224 – 241.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planing. *Philosophical transcripts of the Royal Society of London*, 298, 199-290
- Shallice, T., y Burgess, P.W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114, 727–741
- Shimamura, A. P. (2000) Toward a cognitive neuroscience of metacognition. *Conscious. Cogn.* 9, 313–323.
- Shimamura, A. P. (2000b). The role of the prefrontal cortex in dynamic filtering. *Psychobiology* 28, 207–218
- Shimamura, A. P. (2008). A Neurocognitive Approach to Metacognitive Monitoring and Control En J. Dunlosky y R. Bjork (Eds.). *Handbook of memory and metamemory*, pp. 355–371. NewYork,NY: Psychology Press.
- Shimamura, A. P. y Squire, L. R. (1986) Memory and metamemory: a study of the feeling-of-knowing phenomenon in amnesic patients. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 12, 452–460.
- Simons, J. S., y Spiers, H. J. (2003). Prefrontal and medial temporal lobe interactions in longterm memory. *Nature Reviews: Neuroscience* , 4, 637–648
- Singer, F. M. (2007). Beyond conceptual change: Using representations to integrate domain-specific structural models in learning mathematics. *Mind, Brain, and Education* 1(2), 84–97.

- Slavin, R. E. (1986). Best-evidence synthesis: An alternative to meta-analytic and traditional reviews. *Educational Researcher*, 15(9), 5-11.
- Sowell , E. R., Thompson, P. M., Holmes, C. J., Jernigan, T. L., y Toga, A. W. (1999). In vivo evidence for post-adolescent brain maturation in frontal and striatal regions. *Nature Neuroscience* , 2 , 859 – 861
- Sternber, R. J. (1998) Metacognition, abilities, and developing expertise: What makes an experte student? *Instructional Science*, 26, 127 – 140.
- Strange, B. A.,Henson, R. N., Friston, K. J., y Dolan, R. J. (2001). Anterior prefrontal cortex mediates rule learning in humans. *Cerebral Cortex*, 11, 1040–1046
- Strauss, A., y Corbin, J. (1990). *Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques*. Newbury Park, CA: Sage.
- Strauss, A., y Corbin, J. (1998). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Strike, K. y Posner, G. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. En: West, L. & Pines, L. (eds). *Cognitive structure and conceptual change*. Academic Press, p. 211-231
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643–662.
- Stuss, D.T., Knight, R.T. (2002). *Principles of Frontal Lobe Function*. United States of America: Oxford University Press.

- Suri, H. (2000). *A critique of contemporary methods of research synthesis. Post-Script, 1*, 49-55. Consultado en Agosto de 2011 En: <http://www.edfac.unimelb.edu.au/insight/postscriptfiles/vol1/suri.pdf>
- Szameitat, A. J., Schubert, T., Muller, K., y von Cramon, D. Y. (2002). Localization of executive functions in dual-task performance with fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience, 14*(8), 1184–1199.
- Tamayo A. O. E. (2004). La metacognición en los modelos para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. En: *Pedagogía y Ciencia: ¿Un problema de jerarquías o un problema de geometrías?* p. 275-306
- Tarricone, P. (2011). *The taxonomy of metacognition*. New York NY: Psychology Press.
- Temple, E., y Posner, M. I. (1998). Brain mechanisms of quantity are similar in 5-year-olds and adults. *Proceedings of the National Academy of Science of the U.S.A., 95*, 7836–7841
- Thompson-Schill, S. L., Jonides, J., Marshuetz, C., Smith, E. E., D'Esposito, M., Kan, I. P., et al. (2002). Effects of frontal lobe damage on interference effects in working memory. *Cognitive Affective Behavior Neuroscience, 2*, 109–120
- Tirapu-Ustárroz, J., Muñoz-Céspedes, J.M., Pelegrín-Valero, C. (2002) Funciones ejecutivas: necesidad de una integración conceptual. *Rev Neurol, 34* (7), 673-685.
- Tirapu-Ustárroz J., García-Molina A., Luna-Lario P., Roig-Rovira T., Pelegrín-Valero C. (2008). Modelos de funciones y control ejecutivo (II). *Rev Neurol, 46* (12), 742-750.
- Tsai, C. (2001). A review and discusión of epistemological commitments, metacognition, and critical thinking with suggestions on their enhancement in Internet-assisted chemistry classrooms. *Journal of chemistry education, 78*(7), 970 – 974.

- Tulving, E., Markowitsch, H. J., Criak, F. I. M., Habib, R., y Houle, S. (1996). Novelty and familiarity activations in PET studies of memory encoding and retrieval. *Cerebral Cortex*, 6, 71–79
- Tünerman, C. (1990). *Bases para una política de desarrollo científico y tecnológico del año 2000*. Documento de Discusión Pública. Managua: FIDEG.
- Turkeltaub, P. E., Eden, G. F., Jones, K. M., y Zeffiro, T. A. (2002). Meta-Analysis of the Functional Neuroanatomy of Single-Word Reading: Method and Validation. *NeuroImage*, 16, 765–80.
- Verdejo, A., Aguilar, A. F., Pérez-García, M. (2004). Alteraciones de los procesos de toma de decisiones vinculados al córtex prefrontal ventromedial en pacientes drogodependientes. *Rev Neurol*, 38, 601-6
- Wagner, A. D., Schacter, D. L., Rotte, M., Koutstaal, W., Maril, A., Dale, A. M., et al. (1998). Building memories: Remembering and forgetting of verbal experiences as predicted by brain activity. *Science*, 281, 1188–1191
- Wagner, A. D., Pare-Blagoev, E. J., Clark, J., y Poldrack, R. A. (2001). Recovering meaning: Left prefrontal cortex guides controlled semantic retrieval. *Neuron*, 31, 329–338
- Wagner, A. D. (2002). Cognitive control and episodic memory: Contributions from prefrontal cortex. In L. R. S. Squire y L. Daniel (Eds.), *Neuropsychology of memory* (3rd ed., pp. 174–192). New York: Guilford Press
- Wagner, A. D., Shannon, B. J., Kahn, I., y Buckner, R. L. (2005). Parietal lobe contributions to episodic memory retrieval. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 445–453

- Weed, M. (2005). "Meta Interpretation": A method for the interpretive synthesis of qualitative research. *Forum: Qualitative social research*, 6 (1), Art. 37.
- Wells, A. (2000). *Emotional disorders and metacognition*. Chichester: John Wiley y Sons Ltd.
- Wellman, H. M. A. (1985) The Origins of Metacognition. En Forrest Presley, D. L., Mackinton, G. E. y Waller, T.G. (Eds.) *Metacognition, cognition and Human Perfomance*, Orlando: Academic Press, 1985 (pp.1-30).
- Whetten, D. A. (1989). What constitutes a theoretical contribution? *Academy of Management Review*, 14, 490-495.
- Wiley, J. Jee, B. D. Cognition: Overview and Recent Trends. En: V. G. Aukrust (Ed.). *Learning and Cognition in Education*. Oxford: Elsevier; 2011. p. 3-8
- Yin, R. K. (1989). *Case study research: Design and methods*. London: Sage
- Yussen, S. R. (1985). The role of metacognition in contemporary theories of cognitive development. En: L. Forrest-Pressley, G. E. MacKinnon, y T. Gray Waller (Eds), *Metacognition, Cognition and Human Performance* (Vol. 1, Theoretical perspectives, p 253 – 283). Orlando, FL: Academic Press, Inc.
- Zahr, N. y Kaufman, K. (2011). Clinical and pathological features of alcohol-related brain damage. *Nat. Rev. Neurol.* 7, 284–294
- Zajorc, R., y Markus, H. (1984). Affecta and cognition: The hard interface. En C. Izard, J. Kagan, y R. Zajorc (Eds.), *Emotions, Cognition, and Behavior* (p. 73 – 102). Cambridge: Cambridge University Press.

Zan, R. (2000). A metacognitive intervention in mathematics at university level. *International journal of mathematical education in science and technology*, 31 (1), 143 – 150.

Zatorre, R. J., Halpern, A. R., Perry, D. W., Meyer, E., y Evans, A. C. (1996). Hearing in the mind's ear: A PET investigation of musical imagery and perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 29–46

Zysset, S., Muller, K., Lohmann, G., y von Cramon, D. Y. (2001). Color-word matching Stroop task: Separating interference and response conflict. *Neuroimage*, 13, 29–36