

Participación Educativa

REVISTA DEL CONSEJO
ESCOLAR DE ESTADO

Ministerio
de Educación, Cultura
y Deporte

Consejo
Escolar
del Estado

**La investigación sobre el cerebro y la
mejora de la educación**

Segunda Época/Vol. 1/N.º 1/2012

Artículo

**‘Redes de percepción-acción
en trastornos de aprendizaje’**

Jorge Muñoz Ruata



Jorge Muñoz Ruata

Centro Universitario Villanueva. Universidad Complutense de Madrid (www.villanueva.edu)

Resumen

La gestión de la representación mental depende de las redes de percepción – acción por lo que su alteración parece responsable de muchos trastornos de aprendizaje. En primer lugar, se presenta un breve estudio que muestra las relaciones entre percepción visual y representación mental. Tras revisar la literatura científica sobre las relaciones entre zonas perceptivas y ejecutivas se realiza otro estudio para verificar primero las diferencias de activación cerebral entre la percepción visual pasiva y activa y, en segundo lugar, comprobar la sintonía entre las zonas perceptivas visuales y las ejecutivas mediante el estudio de la coherencia de sus oscilaciones.

Finalmente se analiza cómo se integra el sistema límbico en las redes de percepción – acción y se comenta la posible implicación de estos sistemas en la formación de significados.

Palabras clave: percepción, acción, funciones ejecutivas, percepción activa y pasiva, coherencia, sistema límbico y memoria, significado, educación, neurociencia.

Abstract

Managing mental representation depends on the networks of perception - action, so its disturbance seems responsible for many learning disabilities. First we present a brief study showing the relationships between visual perception and mental representation. After reviewing the literature on the relationship between perceptual and executive areas other study is conducted to verify firstly, brain activation differences between passive and active visual perception and secondly, to check the tuning between visual perceptual and executive areas, by study the coherence of its oscillations.

Finally we analyse how the limbic system is integrated into the networks of perception - action. We conclude by commenting on the possible involvement of these systems in the formation of meanings.

Keywords: perception, action, executive function, active and passive perception, coherence, limbic system and memory, meaning, education, neuroscience.

1. Introducción

Las relaciones entre neurociencia y educación se hacen especialmente necesarias en los trastornos de aprendizaje de causa neurológica. Desde hace 30 años, un equipo formado por docentes, neuropsicólogos, logopedas, fisioterapeutas, y neurofisiólogos, trabajamos tratando de conjugar diversos saberes para orientar la educación y rehabilitación de casos individuales así como para investigar acerca de este tipo de trastornos. El primer objetivo de este trabajo es mostrar la relación de los circuitos de percepción – acción con problemas de aprendizaje, tanto los específicos de la lectura, escritura o cálculo como los generales cuyo punto clave creemos que es la obstaculización de la formación de significados. Complementando la revisión de la literatura científica se incluyen dos pequeños trabajos, realizados con datos aportados por las personas del equipo, cuyo objetivo es ilustrar la integración de la información visual con las funciones ejecutivas para posibilitar la representación mental entendida siempre como la capacidad de manejar activamente las sensaciones. El atrevimiento de citar autores clásicos entiéndase como un homenaje agradecido a la filosofía, con la cual todos estamos en deuda. Creemos que además puede ayudar a comprender y recordar mejor el sentido del texto.

2. Problemas terminológicos

Al decir “redes de percepción-acción” el lector puede saber o suponer que nos referimos a redes de neuronas que relacionan la percepción con la acción en el sistema nervioso central. Sin embargo, como sucede con muchas expresiones relacionadas con la

educación, hablar de “trastornos de aprendizaje” es entrar en una “torre de babel”. Las definiciones propuestas por las la Asociación Americana de Psiquiatría o por la OMS (Organización Mundial de la Salud) son discutidas. En primer lugar, por dejar fuera habilidades como la memoria, la atención, las habilidades motrices o las funciones ejecutivas que para muchos son tan objeto de la educación como pueden serlo la lectura, la escritura o el cálculo. En segundo lugar, por desligar el trastorno de aprendizaje de la inteligencia y en tercer lugar, por no separar los trastornos de origen orgánico de los debidos a factores externos. No vamos a entrar en una discusión que llenaría el espacio disponible y mucho más. Para saber de qué estamos hablando asumiremos algunas propuestas.

Consideramos adecuada la distinción entre trastorno y dificultad que aparece en la mayoría de los trabajos franceses: reservan la expresión “dificultad de aprendizaje” para cuando la causa es externa tal como por ejemplo el abandono, el maltrato o los conflictos psicológicos y proponen la expresión “trastorno de aprendizaje” para cuando la causa es neurológica.

En relación a la inteligencia parece muy interesante la postura inglesa: si el trastorno es leve su repercusión en la inteligencia puede no notarse, pero si es grave inevitablemente producirá un detrimento del nivel intelectual. Esta postura convierte el trastorno de aprendizaje y la discapacidad intelectual en un continuo cuyos síntomas dependen de la gravedad del trastorno.

En este trabajo se estudian algunos de los posibles orígenes neurológicos de trastornos de aprendizaje independientemente de que su intensidad pueda o no haber ocasionado discapacidad intelectual.

3. Redes de percepción – acción

Percibir sensorialmente —y también inteligir y conocer— consisten en padecer un cierto influjo y un cierto movimiento¹.

Desde que alrededor de 1800 el neuroanatomista alemán Franz Joseph Gall propuso que las protuberancias craneales reflejaban las facultades psicológicas de las personas y a pesar de que esa teoría pronto fue calificada de pseudociencia, la neurología no ha comenzado a librarse de su influjo hasta tiempos relativamente recientes.

Cada vez se acumulan más evidencias científicas que obligan a abandonar los modelos “localizacionistas” o “geográficos” de las funciones mentales en el cerebro. Principalmente en las dos últimas décadas ha ido tomando fuerza un modelo integrado del funcionamiento cerebral en el que redes corticales de neuronas extensamente distribuidas interactúan entre sí. No hace mucho si una persona se lesionaba la zona frontal inferior izquierda conocida como área de Broca y presentaba como consecuencia un trastorno de su lenguaje expresivo se infería que esa área era la sede cerebral de ese tipo de lenguaje. Esa idea hoy se etiqueta de simplista. En nuestros días el área de Broca se considera una zona crítica de una extensa red neural cuya lesión produce síntomas de la afasia de Broca. Este cambio de modelo tiene importantes implicaciones sobre la comprensión del funcionamiento cerebral, del desarrollo cognitivo, la clínica de las lesiones corticales y la rehabilitación de las personas con lesiones cerebrales.

El cambio de modelos comenzó cuando en 1938 el discípulo de Ramón y Cajal, Lorente de No (Lorente de No, 1938), propuso la existencia de los “circuitos reverberantes”: conjuntos de neuronas que se activaban interactivamente ante la entrada de estímulos sensoriales o por actuaciones internas. Esta idea fue recogida por su discípulo Hebb (Hebb, 1949), quien ayudó a su divulgación.

A pesar de esta genial idea la neurología permaneció, en gran medida, unida a los esquemas “geográficos” del funcionamiento cerebral. Honrosas excepciones han sido, entre otros muchos, Antonio Fernández de Molina, Rodolfo Llinás y Joaquín Fuster. Es este último quien desde la primera edición de su libro sobre el lóbulo frontal (Joaquín M. Fuster, 1980) sostiene la existencia de redes de percepción – acción como un tipo específico de circuitos reverberantes. Su significado funcional es la unión de las redes neurales dedicadas a la percepción del cerebro posterior con las redes ejecutivas de la corteza frontal conformando lo que Fuster llama el ciclo percepción-acción, principio dinámico fundamental de los procesos mentales.

Este ciclo puede iniciarse con un estímulo externo, un cambio humoral del medio interno, una frase escuchada o un acto mental de cualquier tipo. Cuando recibimos un estímulo sensorial se analiza la información recibida en las redes perceptivas del córtex cerebral posterior. El producto de este primer análisis es transmitido a la corteza frontal. Las redes prefrontales ejecutivas integrarán estas informaciones para organizar actos, que producirán cambios en el mundo externo o en el interno. Estos cambios provocarán un nuevo análisis perceptivo que dará lugar a nuevas acciones, cerrándose así el ciclo percepción – acción, que funcio-

nará hasta que el organismo alcance sus objetivos. Un objetivo puede ser tanto la realización de una acción externa que solucione un problema, como un acto interno que lleve, por ejemplo, a desambiguar una percepción confusa o a alcanzar una nueva comprensión de un fenómeno (Joaquín M. Fuster, 2008). El principio básico de su funcionamiento es la interacción mediante comunicaciones bidireccionales entre áreas sensoriales y motoras, posibilitando funciones tales como la percepción, la memoria de trabajo y la representación mental, a la que la filosofía antigua llamaba imaginación, entendiéndola como algo activo.

4. Representación mental y trastorno de aprendizaje

De modo que el alma nada entiende (*intelligit*) sin la imaginación, de la misma manera que los sentidos nada sienten sin la presencia de lo sensible.²

Considerando solo aquellos que tienen un origen neurológico, los trastornos de aprendizaje en cualquier grado, son producidos por alteraciones de mecanismos neurales muy variados que pueden afectar a la percepción, la motricidad, el lenguaje, la lectura, la escritura o el cálculo. Sin embargo, estos trastornos tienen algo en común: la merma más o menos amplia de algún aspecto de la formación del significado (Muñoz-Ruata, 2008). Inspirándonos en el gran filósofo y médico cordobés Averroes, clasificamos los distintos aspectos del significado en tres grupos: los descriptivos, que estarían ligados al entendimiento receptivo, los operativos, que están ligados al entendimiento agente y los estimativos, ligados a las facultades estimativa y cogitativa³. Así por ejemplo, el significado de una navaja puede formarse en mi mente descriptivamente como un objeto alargado de hoja de metal y mango de madera, operativamente por sus posibilidades de cortar, raspar o pinchar, mientras que mi facultad estimativa me informaría de sus posibles riesgos además de su utilidad, proporcionando a mi facultad cogitativa elementos para decidir lo conveniente.

En el presente trabajo se pretende mostrar cómo manifestaciones neurofisiológicas de la percepción parecen relacionarse con la capacidad para la representación mental. Como se ha sugerido en el párrafo anterior, la formación de significados, y por tanto el verdadero aprendizaje, requiere una capacidad de representación mental suficiente.

5. Estudio neurofisiológico sobre percepción y representación mental

Un grupo de psicólogos discutía sobre si la prueba de dígitos inversos de la escala Wechsler se hacía utilizando la representación mental auditiva o imaginando visualmente los números oídos. Como se disponía de los potenciales evocados visuales de 196 alumnos con distinto grado de trastorno de aprendizaje se pensó que tal vez podrían servir para aclarar la cuestión.

² (Puig Montada, 2005)

³ Aunque la palabra “estimativa” se reservaba para el animal y la palabra “cogitativa” para el humano, en el presente trabajo tomo la licencia de utilizar de manera general la palabra “estimativa”.

¹ (Aristóteles, 2000) Libro tercero. Cap. V, 410a, 25.

Un potencial evocado visual es la reacción eléctrica de la corteza cerebral, especialmente de la occipital, pero no solo de ella, cuando le llega información visual. En neurofisiología se utiliza como estímulo, de manera estándar, un damero presentado en una pantalla cuyos cuadros cambian de blanco a negro y viceversa cada medio segundo. Promediando las reacciones eléctricas producidas por más de cien repeticiones del estímulo se obtiene un perfil gráfico que dibuja varias ondas. En lenguaje neurofisiológico al tiempo que tarda en producirse el máximo de la onda se le llama latencia y al voltaje que alcanza, amplitud. Con el modelo de exploración descrito, la onda más llamativa es positiva y se produce unos 100 milisegundos tras el estímulo. Por este motivo se la llama onda P100 o simplemente P1. La onda P1 refleja una fase temprana del procesamiento de la información visual en el cerebro.

En niños, el momento en el que aparece la onda P1, es decir, su latencia, parece relacionarse con el grado de dislexia (Breceļj, Strucl, & Raic, 1996; Lehmkuhle, Garzia, Turner, Hash, & Baro, 1993). También lo hace la disminución de la amplitud de la onda (Brannan, Solan, Ficarra, & Ong, 1998) lo que sugiere un déficit de procesamiento visual en áreas occipitales (Schulte-Korne, Bartling, Deimel, & Remschmidt, 1999). Este tema es aún discutido por lo que en una reciente revisión (Schulte-Korne & Bruder, 2010) se propone el uso de estímulos móviles y de bajo contraste para un diagnóstico neurofisiológico más seguro de la posible participación del sistema visual en una dislexia.

Algunos trabajos realizados con niños que presentaban síndrome de déficit de atención con hiperactividad han encontrado una amplitud disminuida y una latencia retrasada de la onda P1 con respecto a los grupos de control sanos (Karayanidis, *et al.*, 2000). Por el contrario, otros no han encontrado diferencias ni en latencia ni en amplitud. Sin embargo, cuando se analizaron los ritmos -oscilaciones eléctricas alrededor de los 40 hertzios (ciclos por segundo)- presentes en el momento de producirse la onda P1 se encontraron alteraciones claras en los niños con déficit de atención e hiperactividad que fueron interpretadas como indicadores de deterioro del procesamiento visual temprano (Lenz, *et al.*, 2010). En niños con trastornos de aprendizaje general, Lux (Lux, 1977) encontró una alta correlación entre el retraso en la aparición de la onda P1 en los lóbulos parietales y la puntuación de un test que evaluaba su retraso escolar.

En alumnos dentro del rango de la discapacidad intelectual el voltaje de la onda P1 correlacionó con el cociente intelectual

(Munoz-Ruata, Gomez-Jarabo, Martin-Loeches, & Martinez-Lebrusant, 2000).

Como hemos visto en los ejemplos presentados, los potenciales evocados visuales se han relacionado con los trastornos de aprendizaje, específicos y generales, pero no con la capacidad de representación mental visual directamente. Por ello presentaremos a continuación ese estudio.

5.1. Estudio de la relación entre dígitos inversos y potenciales evocados visuales

Sujetos: Los 196 registros de potenciales evocados visuales se obtuvieron de alumnos con trastornos de aprendizaje desde un grado leve a otros que por su gravedad entran en el rango de la discapacidad intelectual. 13 de estos alumnos, 4 niñas y 9 niños, no fueron capaces de invertir el orden de dos dígitos oídos mientras que 16 alumnos, 6 niñas y 10 niños, fueron capaces de invertir el orden de 4 o más dígitos. Sus edades estaban comprendidas entre los 10 y los 17 años (media 14.4 ±2.1) sin diferencias significativas entre ambos grupos.

Material y métodos: Su cociente intelectual (CI) se midió con el test WISC-R (Wechsler, 1993). Los potenciales evocados visuales se obtuvieron tal y como prescriben los estándares internacionales actuales (Odom, *et al.*, 2010) en 21 electrodos.

Con la prueba estadística “t de Student” se compararon las medias de los voltajes y las latencias de la onda P1 entre el grupo de alumnos incapaz de invertir dos dígitos y los que invertían 4 o más. También se han hecho correlaciones entre los voltajes de las ondas y los cocientes intelectuales.

Resultados: Tal y como puede verse en la tabla 1 las diferencias de las medias de los voltajes entre ambos grupos son muy significativas en los tres electrodos occipitales con probabilidad de azar (p) de esta diferencia de 0.0012 o inferior. Es la zona cerebral en donde la onda P1 es más evidente y la tradicionalmente relacionada con el procesamiento temprano de la visión. El voltaje de los niños que hacen bien la prueba de invertir el orden de los dígitos es normal mientras que el de los que no invierten ninguno es significativamente inferior, lo que puede apreciarse gráficamente comparando las figuras 1 y 2. Las latencias fueron de 118 milisegundos tras el estímulo en ambos grupos.

Tabla 1.- Medias del voltaje de la onda P1 visual expresado en microvoltios (µV). Valor de la prueba “t de Student” y probabilidad de azar (p) de las diferencias de medias entre los grupos con puntuaciones en invertir dígitos =>4 y 0. (O1 es el electrodo occipital izquierdo, Oz el central y O2 el derecho)

Grupo	Dig. Inv.=>4	Dig. Inv.=0	Test de Student	
			t	p
Onda P1	Media (µV)	Media (µV)		
Electrodo O1	8,03 (± 4,53)	1,85 (± 1,97)	4,14	0,0007
Electrodo Oz	9,65 (± 4,65)	2,38 (± 3,31)	4,22	0,0006
Electrodo O2	9,29 (± 4,76)	2,46 (± 3,45)	3,85	0,0012

Figura 1.- Voltajes promedio de la onda P1 de los alumnos que invierten 4 o más dígitos y su mapa cerebral. El color rojo indica mayor voltaje positivo, los amarillos voltajes próximos a 0 y los azules voltajes negativos

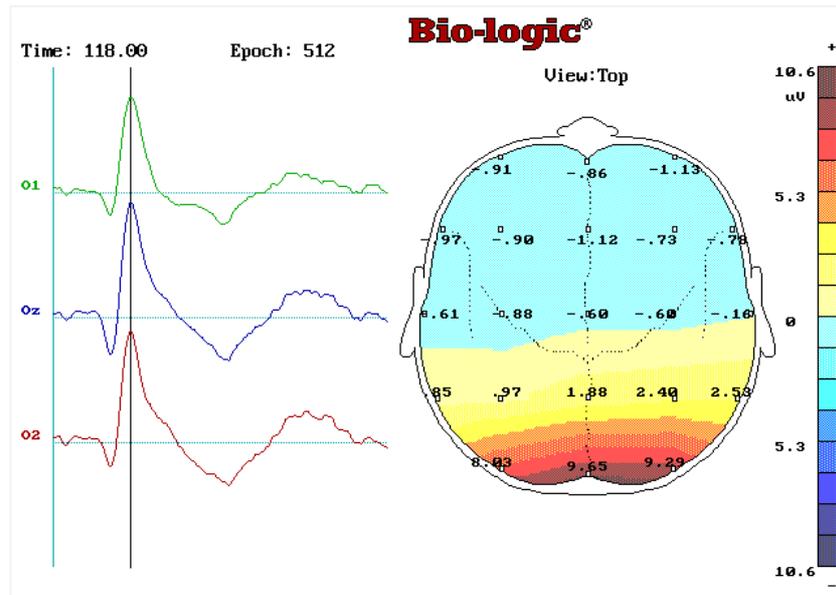
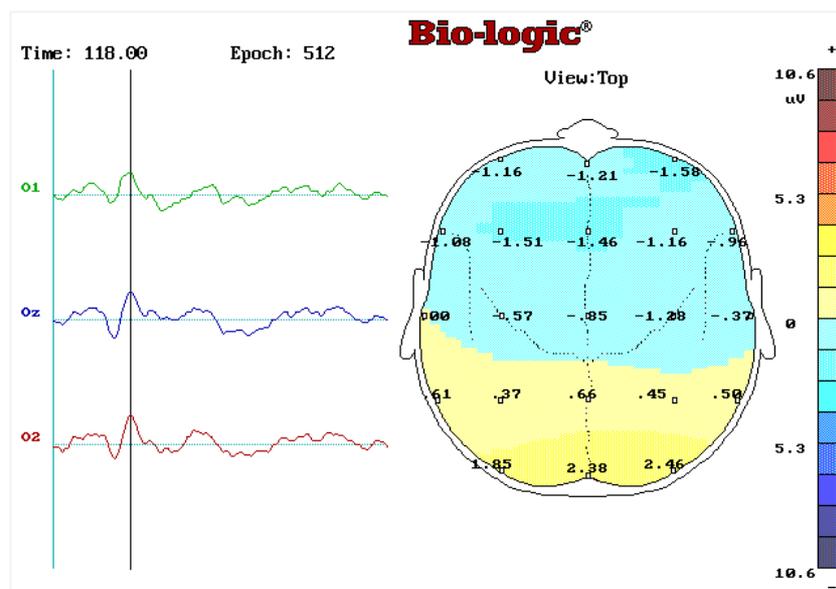


Figura 2.- Voltajes promedio de la onda P1 de los alumnos que no invierten dígitos y su mapa cerebral. El color rojo indica mayor voltaje positivo, los amarillos voltajes próximos a 0 y los azules voltajes negativos



Las correlaciones de Pearson (R) del voltaje de la onda P1 en la muestra total de 196 alumnos fueron significativas con los cocientes intelectuales manipulativo ($R=0,30$; $p=0,000$) y total ($R= 0,23$; $p=0,001$). La correlación con el cociente intelectual verbal se aproximó pero no alcanzó la significación estadística.

Tampoco la correlación entre la puntuación en la prueba de invertir el orden de los dígitos en los 196 alumnos y el voltaje de la onda P1 alcanzó la significación estadística ($R=0,13$; $p=0,065$). Sin embargo, esta correlación fue muy significativa con los 29 alumnos de los dos grupos con puntuaciones extremas en la prueba de dígitos inversos ($R=0,63$; $p=0,000$).

La media de los cocientes intelectuales fue inferior en los que no invertían el orden de los dígitos (CI verbal $45 \pm 8,1$, CI manipu-

lativo $52 \pm 9,1$) que en los que invertían 4 o más dígitos (CI verbal $77 \pm 16,9$, CI manipulativo $82 \pm 17,7$).

Discusión y conclusiones: Tanto en la tabla 1 como en las figuras 1 y 2 se aprecia un bajo voltaje en la onda P1 del potencial evocado visual en los alumnos que no son capaces de invertir el orden de dígitos oídos. Esto apoya la idea de que la inversión de los dígitos oídos se hace mediante la representación mental visual utilizando las áreas cerebrales perceptivas occipitales. Sin embargo, el potencial evocado visual inducido por cambios de luminosidad explora una reacción de las cortezas occipitales “obligada” por el estímulo e independiente de la actuación del sujeto, por lo que su relación con una prueba de imaginación parece extraña.

Hay hechos que apoyan la idea de que utilizamos las áreas occipitales del cerebro tanto para ver como para imaginar: uno es

que la extirpación de esas áreas cerebrales no solo priva de la visión consciente sino también de la imaginación visual (Farah, Levine, & Calvanio, 1988). Además, se han hecho pruebas psicofisiológicas que muestran que imaginación y percepción visual comparten las áreas cerebrales occipitales (Farah, 1985), aunque hay autores, que reconociendo estos hechos, abogan por la participación de otras áreas y señalan la importancia de las diferencias individuales (Kosslyn & Ochsner, 1994).

Volviendo a los clásicos, es sorprendente la coincidencia con la sugerencia de Aristóteles: “Y como la vista es el sentido por excelencia, la palabra «imaginación» (phantasia) deriva de la palabra «luz» (pháos) puesto que no es posible ver sin luz. Y precisamente porque las imágenes perduran son semejantes a las sensaciones...”⁴.

Observando las desviaciones estándar (representadas con el signo \pm) notamos que, aunque sus medias difieren significativamente, los grupos se superponen en las puntuaciones extremas; es decir, se da el caso de alumnos que invierten bien el orden de los dígitos y de otros que no lo hacen aun teniendo voltajes semejantes en la onda P1. Es poco probable que esto se deba a cuestiones técnicas sino más bien al hecho de que el ejercicio propuesto no depende solo de la capacidad de imaginación sino también de la atención o de las estrategias tanto de memoria como de representación que se empleen.

Las correlaciones de la onda P1 con los cocientes intelectuales, nos advierten de la influencia negativa de la disminución de la capacidad de imaginar visualmente sobre la inteligencia, aunque es posible que la merma de la inteligencia sea causada también por una disminución de la calidad de la percepción. En palabras de Empédocles: “...lo que está presente a la percepción aumenta a los hombres el conocimiento”⁵.

De momento podemos concluir que en alumnos con trastorno de aprendizaje pueden encontrarse potenciales evocados anómalos. Los trastornos de aprendizaje de nuestros alumnos que tienen los potenciales evocados visuales normales dependen, con toda probabilidad, de fenómenos ajenos a los estudiados aquí.

Por otra parte, cuando encontremos alumnos cuyos dibujos, o cualquier otro motivo, nos hagan sospechar problemas perceptivos visuales, como por ejemplo, rotaciones de imágenes o signos de simultagnosia visual⁶, deberemos explorar también si existe consecuentemente dificultad en la representación mental visual y valorar hasta qué punto todo ello justifica sus trastornos de aprendizaje con el fin de tomar las medidas pertinentes.

5.2. La sensación en acto

Cuando vemos una imagen la información que la constituye llega desde la retina del ojo al tálamo por el nervio óptico y desde allí a nuestra corteza visual. Pero ¿de dónde llega la información a la corteza visual cuando imaginamos? Tal vez podamos responder

⁴ Aristóteles, *De Anima*, libro tercero Cap. III, 429a, 5.

⁵ Empedocles, *Fr. B 106* (I 250, 21), Diels, H., and W. Kranz, 1960, *Die Fragmente der Vorsokratiker*, Berlin: Weidmannsche Verlagsbuchhandlung.

⁶ Dificultad para integrar los múltiples elementos de una forma o escena.

algo a esa pregunta siguiendo las vías visuales. Desde hace tres décadas sabemos que después de llegar a la corteza occipital las vías visuales se dividen en dos grandes haces, uno ventral y otro dorsal. De hecho esa división procede del tálamo en donde el haz ventral nace de unas neuronas de pequeño tamaño, por lo que también se le llama “parvocelular”, mientras que el dorsal nace de unas neuronas grandes, por lo que también se le llama “magnocelular” (Ungerleider & Mishkin, 1982). Fundamentándose en datos clínicos, Ungerleider y Mishkin propusieron que por los haces de conexión dorsal discurre la configuración espacial de las imágenes. Esta conexión se conoce también como “vía del dónde” e interviene importantemente en la orientación espacial de los movimientos en relación a los objetos vistos. Por los haces ventrales van los detalles parciales del objeto visto, esenciales para configurar su significado. A esta conexión se la conoce también como “vía de qué”. Evidencias posteriores han confirmado esta hipótesis aunque todavía es discutida por algunos y matizada por otros. En una conocida revisión sobre esta hipótesis Melvyn A. Milner y David Goodale recogieron una impresionante cantidad de evidencias anatómicas, neuropsicológicas, electrofisiológicas y conductuales que la confirman (Milner & Goodale, 1995).

Sin embargo, en aquella época se creía que las vías dorsal y ventral de la visión solo llegaban hasta el parietal una y al temporal otra, respectivamente. Ya en este siglo se estudió la llegada de ambas vías al lóbulo prefrontal. Bajo el punto de vista anatómico Carmen Cavada *et al.* describieron las conexiones del prefrontal con multitud de otras zonas cerebrales en el macaco. Encontraron que la modalidad sensorial visual conecta fundamentalmente con la zona orbitofrontal lateral (Cavada, Company, Tejedor, Cruz-Rizzolo, & Reinoso-Suarez, 2000).

Otros trabajos, realizados con humanos, midieron el flujo de la transmisión encontrando que la información sobre la configuración espacial de la vía dorsal llegaba al prefrontal unos 10 milisegundos antes que la información de detalles por la vía ventral (Foxy & Simpson, 2002). Podría pensarse que para percibir una cara primero nos llega al prefrontal una configuración espacial general por la “vía del dónde” que sirve de plantilla para colocar en ella, 10 milisegundos después, los detalles visuales que nos llegan por la “vía de qué”.

Recordemos en este punto que las zonas anteriores del cerebro están dedicadas a la actividad que pasa a los músculos desde la zona motora primaria, situada justo delante de la cisura de Rolando. Las áreas situadas por delante, denominadas premotoras, organizan el movimiento y las más anteriores, las prefrontales, planifican y organizan la acción interna y externa. Es decir, que la información visual que llega por las vías dorsal y ventral es reconstruida activamente en el prefrontal. Esta reconstrucción además de la información entrante usa plantillas: unas heredadas de nuestra especie y otras formadas por aprendizaje (Summerfield, et al., 2006).

Tenemos plantillas perceptivas para cualquier sentido. Con respecto a la visión, se puede suponer que la tendencia de los niños a dar forma humana a lo que ven es heredada. Es por eso por lo que un avión puede tener un ventilador en la nariz o una palmera, el pelo alborotado. Otras formas de percibir son aprendidas: si eres inglés, la primera sílaba del ladrido de un perro es “bau”; si eres español “guau”. El gallo dirá “cock-a-doodle-doo” a un inglés y “quiquiriquí” a un español; ambos jurarán que es eso lo que oyen. Simplemente su patrón perceptivo del sonido es distinto. Comprender esto es importante para enseñar y aprender idiomas: hemos de evitar interpretar sonidos extranjeros según nuestros clichés tal y como a veces hacemos, por ejemplo, cuando transformamos el sonido “w” inglés en el sonido “gu” español.

En la escuela son especialmente importantes los patrones perceptivos visuales de las letras que permiten un rápido reconocimiento y, en su caso, desambiguación. Se ha demostrado neurofisiológicamente que la percepción de un tipo concreto de estímulos, por ejemplo las letras, mejora con el entrenamiento (Brem, *et al.*, 2005). En estos experimentos las ondas de los potenciales evocados visuales mostraban que el esfuerzo requerido para reconocer las letras era en un principio mayor que el requerido para reconocer símbolos arbitrarios más sencillos. Con el entrenamiento en lectura esta tendencia se invertía conforme el niño iba mejorando su capacidad para leer. Este trabajo se replicó después estudiando niños con y sin dislexia (Maurer, *et al.*, 2007). En los niños disléxicos el cambio de los potenciales evocados relacionados con los patrones perceptivos durante el aprendizaje de la lectura es significativamente menor. En ambos grupos, niños con y sin dislexia, los errores de lectura correlacionaron significativamente con estos potenciales evocados. Los autores concluyeron que un análisis detallado de estos potenciales puede ser útil para evaluar las alteraciones de la formación de los patrones visuales de las letras en la dislexia.

Hemos viajado desde la corteza visual occipital hasta regiones prefrontales en donde hemos encontrado la aplicación de plantillas perceptivas a las informaciones visuales, que llegan por las vías dorsal y ventral, y que allí son integradas. Pero ¿hay algún camino de vuelta a las áreas occipitales? La respuesta es que sí. Hay evidencias electrofisiológicas y metabólicas de que el córtex prefrontal regula el procesamiento de la información visual en el occipital (Barcelo, Suwazono, & Knight, 2000). Por otra parte, trabajos recientes muestran una comunicación bidireccional de ambas zonas en la franja de los ritmos gamma -oscilaciones eléctricas alrededor de los 40 ciclos por segundo- durante la atención visual (Gregoriou, Gotts, Zhou, & Desimone, 2009) lo que podría relacionarse con el trabajo citado anteriormente en el que se encontraron alteraciones del ritmo gamma en los niños con déficit de atención e hiperactividad que fueron interpretadas como indicadores del deterioro del procesamiento visual temprano de estos niños.

Todo apunta a que la percepción se forma en grandes circuitos reverberantes en los que interactúan áreas sensoriales del córtex posterior con áreas de acción del córtex anterior, verdaderos circuitos de percepción - acción.

6. Circuitos de percepción⁷ - acción en trastornos de aprendizaje

La idea de que en algunos trastornos de aprendizaje puede haber un daño en las fases tempranas de la percepción visual encuentra su apoyo en trabajos realizados con potenciales evocados que estudian la reacción cerebral inmediata a estímulos visuales. Varios autores (Gasser, Pietz, Schellberg, & Kohler, 1988; Hakamada, Watanabe, Hara, & Miyazaki, 1981; Osaka & Osaka, 1980; Psatta, 1981; Zurron & Diaz, 1995), informaron de anomalías en estos potenciales evocados en sujetos con trastornos de aprendizaje o discapacidad intelectual. Además también los trabajos con potenciales eléctricos cerebrales provocados con estímulos más complejos que estudian fases posteriores del procesamiento

visual, han encontrado anomalías en estas poblaciones (Muñoz-Ruata, *et al.*, 2000; Sandman & Barron, 1986).

Las alteraciones de la percepción en alumnos con trastornos de aprendizaje han sido frecuentemente observadas pero su influencia sobre la cognición está poco evaluada. Por ello realizamos un estudio (Muñoz-Ruata, Caro-Martinez, Martinez Perez, & Borja, 2010) para intentar clarificar en alguna medida los mecanismos de estas alteraciones e intentar medir sus efectos sobre distintos modos de cognición con medios neurofisiológicos. Analizamos los componentes tempranos de la percepción visual en una tarea en la que se alternaban momentos de percepción pasiva (80%) con otros que exigían percepción activa. Buscábamos, en primer lugar, comprobar si con un modelo de exploración, en el que el alumno debía discriminar y seleccionar activamente un tipo de estímulo dentro de una serie de estímulos neutros, se pueden obtener potenciales evocados visuales tempranos diferentes en función de si requerían discriminación y selección activa o no. En segundo lugar, estudiar la relación con pruebas de percepción, asociación y razonamiento visual, tanto de los potenciales obtenidos en la percepción activa como en la pasiva, con el fin de ayudar al esclarecimiento de posibles mecanismos perceptivos cuya alteración podría producir o favorecer un déficit cognitivo y de evaluar la significación funcional de los potenciales evocados de los alumnos. En la prueba el estímulo activo era un triángulo ante cuya aparición alumno debía presionar el ratón de un ordenador. Ante cualquier otro estímulo no debía hacer nada. Se consiguieron 69 registros válidos de los cuales se midió la amplitud y la latencia de una onda frontal (onda N1a) y se correlacionó con los resultados de las pruebas de percepción, asociación y razonamiento analógico visual.

Los resultados nos sorprendieron pues la onda frontal analizada no solo se relacionaba con problemas de percepción visual, principalmente de simultagnosia visual (integración de imágenes) y cierre visual (Test de Collaruso Hamill), sino también, con mayor intensidad, con pruebas de relaciones semánticas (comprensión visual del test ITPA y conceptos del WISC-IV) y de razonamiento analógico con inferencia de reglas (asociación visual del test ITPA y matrices del WISC-IV). Estas relaciones solo se encontraron en el caso de los estímulos que requerían discriminación y selección activa pero no cuando el sujeto permanecía pasivo ante el estímulo. Tampoco se encontraron relaciones significativas de esta onda con las pruebas de tipo verbal.

Concluimos que la amplitud de la onda frontal estudiada podría ser un indicador de las capacidades de integración, asociación y razonamiento visual y que parte de las alteraciones perceptivas y de razonamiento visual observadas en nuestros alumnos podrían no depender directamente de alteraciones de las áreas sensoriales, sino de un fallo de la participación frontal en el proceso de construcción de los preceptos.

En mayo de 2012 apareció un estudio que confirmaba los hallazgos de nuestra publicación en un campo aparentemente alejado de la educación. En el departamento de Obstetricia y Ginecología del Centro Médico de la Universidad de Groningen en Holanda (Wiegman, *et al.*, 2012) se estudió un grupo de mujeres con antecedentes de eclampsia grave que, como se da con cierta frecuencia en esta enfermedad, se quejaban de problemas en la percepción visual. La eclampsia es una complicación grave de la enfermedad hipertensiva del embarazo que se caracteriza por la

⁷ "Percibir es verbo, acto" (Alvira, 1986)

aparición de convulsiones sin alteraciones neurológicas previas. Los autores del estudio observaron que el 35% de estas mujeres presentaban lesiones en la sustancia blanca frontal⁸ según aparecía en las imágenes obtenidas con resonancia magnética. Citando nuestra publicación relacionan estas alteraciones frontales con los trastornos perceptivos de estas mujeres comprobados después con pruebas específicas de percepción. El trabajo está calificado con el nivel II de evidencia, el mayor tras los meta-análisis. Los resultados de este trabajo subrayan la necesidad de valorar más las quejas de las mujeres así como de mejorar la terapia y la prevención de estas complicaciones.

7. Medidas de la comunicación entre las zonas de percepción y las de acción

Desde finales del siglo XX la idea de redes neurales ha ido sustituyendo a la idea de áreas cerebrales que funcionaban como módulos independientes. El concepto de redes neurales supone la existencia de comunicación tanto dentro de cada red como de las diversas redes entre sí para que el cerebro pueda funcionar de una manera integrada.

Actualmente se estudian las características de la conectividad cerebral en diversas patologías. Por ejemplo, en las personas con autismo parece haber una conectividad debilitada tanto en las conexiones a larga distancia como en las interhemisféricas, mientras que hay resultados contradictorios sobre si hay un exceso de conexiones locales (Palau-Baduell, Salvadó-Salvadó, Clouff-Torrentó, & Valls-Santassusana, 2012). Se han encontrado algoritmos de estudio de conectividad (Fuzzy synchronization likelihood) que permiten diferenciar a los niños con trastorno de déficit de atención con hiperactividad de los niños que no presentan esos síntomas (Ahmadlou & Adeli, 2011). En niños disléxicos es frecuente encontrar un deterioro de las conexiones rápidas occipito-temporales (Maurer, *et al.*, 2007).

No hemos encontrado estudios de conectividad en alumnos con trastornos no específicos de aprendizaje y mucho menos sobre la conectividad de sus redes de percepción – acción.

Podemos analizar las reacciones eléctricas de 69 alumnos del trabajo citado (Munoz-Ruata, *et al.*, 2010). Las imágenes promedio del grupo de la potencia eléctrica global que obtenemos, con las situaciones estimulables activa y pasiva, no difieren de las de un potencial evocado visual normal como el de la figura 1, apareciendo una activación típica predominantemente occipital.

Sin embargo, hemos citado varios autores (Gregoriou, *et al.*, 2009; Lenz, *et al.*, 2010) que han encontrado conexiones dentro de la banda gamma en oscilaciones eléctricas de alrededor de los 40 hertzios. Gracias a la generosísima y gratuita aportación del grupo Brainstorm y especialmente de Francois Tadel y Sylvain Baillet del “McConnell Brain Imaging Centre” de Montreal, disponemos de los programas informáticos con las herramientas matemáticas necesarias para analizar la actividad cerebral a distintas frecuencias (Tadel, Baillet, Mosher, Pantazis, & Leahy, 2011). El procedimiento es complejo. Para el lector experto diremos que se ha realizado una “transformada wavelet de Morlet” que permite calcular la potencia eléctrica en un tiempo y frecuencia

determinados. Después se ha calculado la topografía de las potencias sobre la superficie cerebral utilizando los algoritmos de cálculo de fuentes eléctricas propuestos por Roberto Pascual-Marqui; procedimiento conocido como “Loreta” (Pascual-Marqui, Esslen, Kochi, & Lehmann, 2002). El resultado final de analizar la actividad cerebral a 40 hertzios durante la producción de la onda P1 del potencial evocado visual se expone en la figura 3. Las unidades de medida de la escala colorimétrica son μV^2 por 10^{-13} .

Tal y como se esperaba en el promedio de los ensayos de “visión activa” hay una actividad aumentada en zonas occipitales y prefrontales. En ambas situaciones, activa y pasiva, se observa una activación parietal inferior cuya explicación podría estar relacionada con los procesos de integración de los elementos constituyentes de las imágenes ya que las disfunciones en esa zona producen simultagnosia visual, que dificulta o impide la percepción de “Gestalt” globales (Ritzinger, Huberle, & Karnath, 2012) o altera la percepción de las relaciones espaciales entre los elementos de una escena (Jacob & Jeannerod, 2007). Este fenómeno se suele acompañar de problemas de cálculo; hecho que ha vuelto a ser comprobado en niños recientemente (Ashkenazi, Rosenberg-Lee, Tenison, & Menon, 2012) mediante resonancia magnética funcional.

Una cuestión que surge ante la activación prefrontal es si esta tiene relación con la visión o es un fenómeno independiente tal vez relacionado con el hecho de que el alumno debe presionar un botón ante el tipo de estímulo convenido. Tal vez, por tanto, podría tratarse de una *preparación para la acción*, función propia de los lóbulos prefrontales. Otra posibilidad es que el prefrontal se activara debido a la consigna condicional que se dio a los alumnos: “Si aparece esta imagen, entonces aprieta el botón; si aparece otra imagen cualquiera, entonces no hagas nada”. Es conocido desde los trabajos de Luria que las lesiones prefrontales alteran el pensamiento condicional y también ha sido comprobado en personas sanas que el prefrontal participa decisivamente en el razonamiento condicional (Noveck, Goel, & Smith, 2004; Reverberi, *et al.*, 2010). La preparación para la acción que se realiza en el prefrontal es casi siempre condicional.

Para responder a esta pregunta podemos calcular el grado de sintonía entre los electrodos occipitales izquierdo, derecho y central (O1, O2 y Oz) con los prefrontales izquierdo, derecho y frontal central (Fp1, Fp2 y Fz) medida con el coeficiente de coherencia a 40 hertzios lo que demostraría interdependencia funcional entre esas áreas.

Los resultados promedio del grupo estudiado, obtenidos utilizando el programa del grupo de Montreal, se muestran en la figura 4. Las zonas estudiadas no solo están sintonizadas sino que, en conexiones largas, son las que lo están con más intensidad. Todos los coeficientes, correspondientes a las conexiones de la figura 4, están por encima de 0,98 sobre un máximo de 1. Por tanto podemos concluir que hay una gran probabilidad de que ambas zonas participen conjuntamente en el proceso perceptivo.

⁸ La sustancia blanca está formada por fibras nerviosas de color claro por estar cubiertas de mielina.

Figura 3.- El promedio del grupo de la actividad cerebral a 40 hertzios durante la visión activa temprana (P1), en el que aparecen activadas conjuntamente las áreas occipitales y prefrontales, contrasta con la visión pasiva

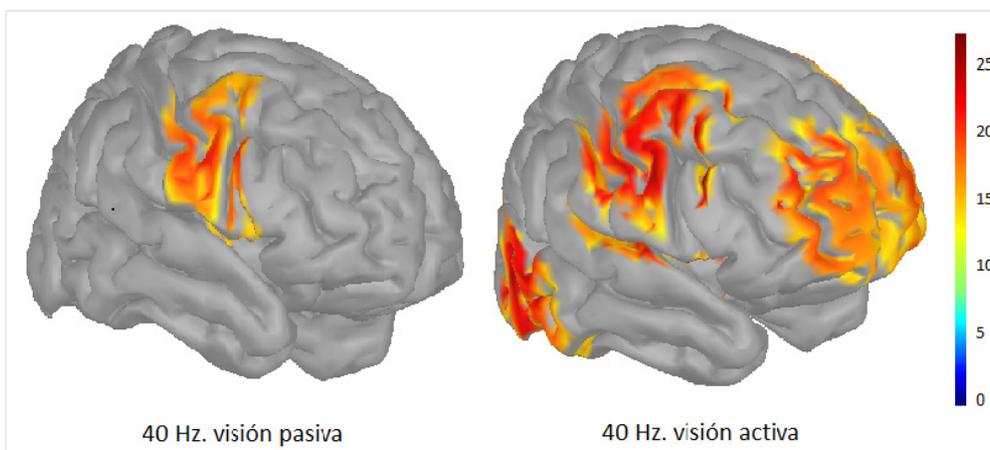
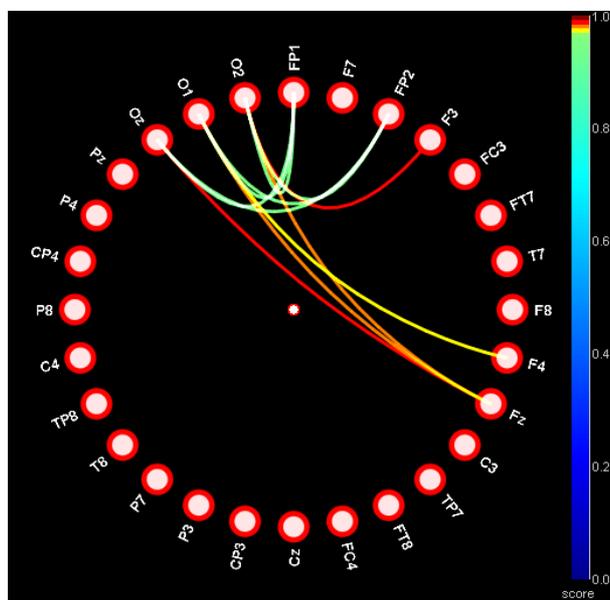


Figura 4.- Coherencia entre los electrodos occipitales (O1, O2 y Oz), los prefrontales (Fp1 y Fp2) y frontales (Fz, F4 y F3). La escala de color ha sido modificada para que se aprecien diferencias entre las coherencias ya que todas las presentadas son mayores de 0.98. La escala oscila entre 0 y 1



Este trabajo debe continuarse haciendo comparaciones múltiples entre las medidas obtenidas en grupos de alumnos con y sin trastornos de aprendizaje, grupos de cada tipo de síndrome, y grupos con trastornos específicos. Además se deberán relacionar con funciones cognitivas con el fin de conocer mejor su significación y valor diagnóstico.

Pierre Jacob y Marc Jeannerod propusieron un modo semántico *vs.* un modo pragmático de procesar la información visual (Jacob & Jeannerod, 2007). En el modo semántico predominaría la vía visual del “qué” o vía ventral y estaría orientado a la comprensión del significado de lo visto, mientras que en el modo pragmático predominaría la vía dorsal o vía del “dónde” que se encargaría también de informar al sistema motor de las características espaciales del escenario en el que se realizaría el movimiento.

Sería incorrecto pensar que lo que se denomina visión pasiva y activa en este trabajo corresponde a los modos de procesar semántico y pragmático ya que las correlaciones que encontramos (Munoz-Ruata, *et al.*, 2010) entre actividad prefrontal y las medi-

das de asociación semántica y de razonamiento analógico prueban lo contrario. Es decir, tanto para el modo semántico de procesar la información visual como para el pragmático es necesaria la visión activa y por tanto para comprender los significados debemos realizar una acción interna en la que parecen implicados nuestros lóbulos prefrontales. Pero, ¿por qué el prefrontal?

8. La simulación interna como circuito de percepción - acción

Marc Jeannerod (Jeannerod, 2001) propuso la hipótesis de que el sistema motor es parte de una red de simulación interna que es activada por situaciones tendentes directa o indirectamente a la acción. Joaquín Fuster (Fuster, J.M., 2008) presenta una doble vía, interna y externa, en su esquema de los circuitos de percepción - acción. Evidentemente la vía interna es la vía de la simulación. Explicado de una manera simple es como si los animales muy primitivos tuviesen un sistema nervioso que reacciona directamente a un estímulo con patrones preconfigurados genética-

mente mediante una actuación muscular. En algún momento de nuestra evolución el impulso nervioso, o parte de él, dejó de ir a los músculos y se desvió hacia el propio cerebro. Desde las zonas motoras del cerebro comenzaron a recrearse las imágenes necesarias para mejorar la eficacia de la acción. Antes de ser ejecutadas, las acciones se simulaban en la mente, lo que supone una acción interna programada, dirigida y regulada por el órgano que lo hacía también con las acciones externas, las áreas prefrontales. Nuestra mente es, por tanto, hija de la simulación mental de la actividad y, en el sentido filosófico tradicional, es especialmente hija de nuestra imaginación. Jeannerod añade la matización de que esta acción recreada en la simulación mental puede ser propia o bien observada en otras personas e incluso en objetos.

9. La energía del sistema de percepción acción

Cuando Carmen Cavada *et al.* de la Universidad Autónoma de Madrid (Cavada, *et al.*, 2000) describieron las conexiones de la parte inferior del córtex prefrontal, técnicamente el córtex orbitofrontal, encontraron no solo conexiones con las áreas sensoriales sino también con el sistema límbico: el hipocampo, la amígdala y el córtex cingulado entre otras zonas.

9.1. Estimación y etiquetado emocional

Hasta hace poco tiempo ha sido fácil encontrar textos que afirmaban que la memoria se encontraba en el hipocampo. Joaquín Fuster lleva muchos años argumentando que esto no es así (Joaquín M. Fuster, 1980; J.M Fuster, 2008; J. M. Fuster, 2010), que la memoria es una propiedad de redes neurales y por tanto está ampliamente distribuida: la sensorial, en las zonas posteriores del cerebro; la motora y ejecutiva, en las zonas anteriores y zonas motoras subcorticales. En realidad todos los sistemas que conforman el sistema nervioso tienen memoria. Personalmente me atrevería a decir que todos los sistemas vivos tienen memoria. ¿Cuál fue entonces la causa de la primera opinión? Como a menudo ha ocurrido con el sistema nervioso, se pensó que si la lesión de una zona alteraba una función es que la función residía en esa zona. Es algo así como creer que la imagen del televisor se produce en el cable de la antena ya que, si se corta, la imagen desaparece. Una explicación plausible, que ha estado en la mente de muchos neurocientíficos desde hace años, ha sido formulada en este siglo. El sistema límbico, sobre todo el hipocampo y la amígdala, etiqueta emocionalmente la información (Richter-Levin & Akirav, 2003). Sea por ser emocionalmente positiva o negativa, el proceso de etiquetado hace que los sistemas del cerebro fijen la información. Lo indiferente se olvida, lo relevante se recuerda. Recientemente se ha revisado esta propuesta en relación al síndrome de estrés postraumático (Bergado, Lucas, & Richter-Levin, 2011), en el que la persistencia de recuerdos en relación a la emoción es muy evidente. La hipótesis del marcado emocional se ha considerado demostrada en experimentos sobre recuerdo de expresiones faciales en situaciones interpersonales (Bell, *et al.*, 2012). A partir de estos experimentos los autores argumentan sobre la importancia del etiquetado emocional en los distintos tipos de aprendizaje.

9.2. El matrimonio entre emoción e información de formas

En general se asume que la zona prefrontal del cerebro es el director de orquesta de la melodía de nuestra mente. Si es así, las conexiones con el sistema límbico deben actuar de alguna manera

para armonizar el procesamiento de la información de las formas, cuyo origen está en los sentidos, con la información emocional “estimativa”, cuyo origen está en sistemas internos.

El procesamiento de la información de lo que coloquialmente conocemos como pensamiento se hace en gran medida con ritmos gamma alrededor de los 40 hertzios; el hipocampo funciona principalmente con ritmos theta que son más lentos. Se ha encontrado que los ritmos theta del hipocampo se acoplan a los ritmos gamma, los sostienen y los modulan (Fujisawa & Buzsaki, 2011) durante el procesamiento de la información y especialmente en la fijación de contenidos en la memoria (Schack, Vath, Petsche, Geissler, & Moller, 2002). Haciendo una simplificación didáctica se podría decir que es como si cada 8 o 10 ciclos hubiese un empujón emocional procedente del sistema límbico que mantiene al pensamiento. Fenoménicamente a este empujón le podríamos llamar “interés” sin el cual el pensamiento se extingue. Además parece ser que estas formas de sincronización son necesarias para que se produzca la vivencia que llamamos “consciencia” (John, 2005), es decir, la que nos hace conscientes del mundo interno y del externo, y añadiríamos, posibilita la voluntad.

Es común en la literatura afirmar la necesidad de controlar las emociones. Según lo dicho, parece que en realidad son las emociones las que lo controlan todo. De hecho hay investigaciones que describen cómo los ritmos del hipocampo “arrastran” a los del pensamiento (Sirota, *et al.*, 2008) y cómo estructuras más relacionadas con procesos vitales mediados por hormonas, como el hipotálamo, regulan a su vez las estructuras límbicas (Kirk, 1998). La información vital y emocional es necesaria para formar significados a partir de las formas que llegan por los sentidos. Un león no significaría lo mismo si prescindimos de las emociones de miedo y peligro. En personas con discapacidad intelectual encontramos con cierta frecuencia el curioso fenómeno de poder relatar un peligro y sin embargo no sentirlo ni reaccionar ante él. Incluso en muchas ocasiones está ausente lo que en medicina se llama “el componente pático del dolor”, es decir, la emoción ligada al dolor.

No obstante, parece que no es del todo exacto que estemos necesariamente regulados por los sistemas vitales y emocionales. La naturaleza nos ha dotado de vías de doble sentido. Hay investigaciones que han estudiado neurofisiológicamente los dos caminos llegando a la conclusión de que cognición y emoción se regulan mutuamente (Blair, *et al.*, 2007). Especialmente se han estudiado los mecanismos que, actuando desde las zonas prefrontales y frontales, están implicados en la supresión de las emociones negativas.

10. Conclusiones

El conocimiento está basado en la construcción de significados que se realiza en las redes de percepción - acción, redes que incluyen los sistemas neurales que procesan la información emocional. Pocas cosas hemos dicho que no estuviesen en los escritos de los pensadores clásicos sobre las facultades del alma. La diferencia más radical es que ahora podemos medir sus manifestaciones y aplicar esas mediciones al conocimiento de las causas de los trastornos de aprendizaje.

Excede el espacio de este trabajo, y de las posibilidades del autor, desarrollar las implicaciones educativas de los aspectos comentados, aunque, dicho de manera sintética, sugieren la idea de enseñar a mirar activamente buscando los significados de lo que vemos en las tres dimensiones funcionales de las redes neurales de percepción - acción. Una primera dimensión es la descriptiva, cuya finalidad es comprender las formas, es decir, cómo son las cosas. Otra es operativa, que se proyecta hacia el futuro, cuya

finalidad es comprender las posibilidades que nos aportan las cosas. Finalmente, una tercera dimensión es estimativa, que pone en relación nuestra experiencia pasada con las posibilidades de futuro, y cuya finalidad es comprender cómo nos afectan las cosas, su relevancia y conveniencia para nuestros propósitos, ventajas, inconvenientes o peligros. No solo hay que educar al alumno en los sentimientos y emociones fuertes sino también en los sutiles, es decir, hay que educar para la sensibilidad. En este contexto la creatividad en el arte, la empresa o la ciencia se resume en dos palabras: pasión y forma. Confío en que el verdadero maestro sabrá trasladar las reflexiones al aula.

Referencias bibliográficas

- AHMADLOU, M., & ADELI, H. (2011): "Fuzzy synchronization likelihood with application to attention-deficit/hyperactivity disorder". *Clin EEG Neurosci*, 42(1), 6-13.
- ALVIRA, R. (1986): "Reflexiones sobre el concepto de percepción en la filosofía aristotélica". *Anuario Filosófico*, 19, pp. 157-162.
- ARISTÓTELES, (2000): *Acerca del alma* (T. Calvo Martínez, Trans.). Gredos, Madrid.
- ASHKENAZI, S.; ROSENBERG-LEE, M.; TENISON, C., & MENON, V. (2012): "Weak task-related modulation and stimulus representations during arithmetic problem solving in children with developmental dyscalculia". *Dev Cogn Neurosci*, 2 Suppl 1, S152-166.
- BARCELO, F.; SUWAZONO, S., & KNIGHT, R. T. (2000): "Prefrontal modulation of visual processing in humans". *Nature Neuroscience*, 3(4), pp. 399-403.
- BELL, R.; BUCHNER, A.; ERDFELDER, E.; GIANG, T.; SCHAIN, C., & RIETHER, N. (2012): "How specific is source memory for faces of cheaters? Evidence for categorical emotional tagging". *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 38(2), pp. 457-472.
- BERGADO, J. A.; LUCAS, M., & RICHTER-LEVIN, G. (2011): "Emotional tagging--a simple hypothesis in a complex reality". *Prog Neurobiol*, 94(1), pp. 64-76.
- BLAIR, K. S.; SMITH, B. W.; MITCHELL, D. G.; MORTON, J.; VYTHILINGAM, M.; PESSOA, L., et al. (2007): "Modulation of emotion by cognition and cognition by emotion". *Neuroimage*, 35(1), pp. 430-440.
- BRANNAN, J. R.; SOLAN, H. A.; FICARRA, A. P., & ONG, E. (1998): "Effect of luminance on visual evoked potential amplitudes in normal and disabled readers". *Optom Vis Sci*, 75(4), pp. 279-283.
- BRECELJ, J.; STRUCL, M., & RAIC, V. (1996): "Do visual neurophysiological tests reflect magnocellular deficit in dyslexic children?" *Pflugers Arch*, 431(6 Suppl 2), R299-300.
- BREM, S.; LANG-DULLENKOPF, A.; MAURER, U.; HALDER, P.; BUCHER, K., & BRANDEIS, D. (2005): "Neurophysiological signs of rapidly emerging visual expertise for symbol strings". *Neuroreport*, 16(1), pp. 45-48.
- CAVADA, C.; COMPANY, T.; TEJEDOR, J.; CRUZ-RIZZOLO, R. J., & REINOSO-SUAREZ, F. (2000): "The anatomical connections of the macaque monkey orbitofrontal cortex". A review. *Cereb Cortex*, 10(3), pp. 220-242.
- FARAH, M. J. (1985): "Psychophysical evidence for a shared representational medium for mental images and percepts". *J Exp Psychol Gen*, 114(1), pp. 91-103.
- FARAH, M. J.; LEVINE, D. N., & CALVANIO, R. (1988): "A case study of mental imagery deficit". *Brain Cogn*, 8(2), pp. 147-164.
- FOXE, J. J., & SIMPSON, G. V. (2002): "Flow of activation from V1 to frontal cortex in humans. A framework for defining "early" visual processing". *Exp Brain Res*, 142(1), pp. 139-150.
- FUJISAWA, S., & BUZSAKI, G. (2011): "A 4 Hz oscillation adaptively synchronizes prefrontal, VTA, and hippocampal activities". *Neuron*, 72(1), pp. 153-165.
- FUSTER, J. M. (1980): *The prefrontal cortex : anatomy, physiology, and neuropsychology of the frontal lobe*. Raven Press, New York.
- , (2008): *The Prefrontal Cortex* (Fourth ed.). Academic Press, London.
- , (2010): "The reticular paradigm of cortical memory". *Rev Neurol*, 50 Suppl 3, S3-10.
- GASSER, T.; PIETZ, J., SCHELLBERG, D., & KOHLER, W. (1988): "Visual evoked potentials of mildly mentally retarded and control children". *Dev Med Child Neurol*, 30(5), pp. 638-645.
- GREGORIOU, G.G., GOTTS, S.J.; ZHOU, H., & DESIMONE, R. (2009): "High-frequency, long-range coupling between prefrontal and visual cortex during attention". *Science*, 324(5931), pp. 1207-1210.
- HAKAMADA, S., WATANABE, K.; HARA, K., & MIYAZAKI, S. (1981): "The evolution of visual and auditory evoked potentials in infants with perinatal disorder". *Brain Dev*, 3(4), pp. 339-344.
- HEBB, D. O. (1949): *The organization of behavior; a neuropsychological theory*. New York: Wiley.
- JACOB, P., & JEANNEROD, M. (2007): "Précis of Ways of Seeing, the Scope and Limits of Visual Cognition". *Psyche*, 13(2):
- JEANNEROD, M. (2001): "Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition". *Neuroimage*, 14(1 Pt 2), S103-109.
- JOHN, E.R. (2005): "From synchronous neuronal discharges to subjective awareness?". *Prog Brain Res*, 150, pp. 143-171.
- KARAYANIDIS, F.; ROBAEY, P.; BOURASSA, M.; DE KONING, D.; GEOFFROY, G., & PELLETIER, G. (2000): "ERP differences in visual attention processing between attention-deficit hyperactivity disorder and control boys in the absence of performance differences". *Psychophysiology*, 37(3), pp. 319-333.
- KIRK, I.J. (1998): "Frequency modulation of hippocampal theta by the supramammillary nucleus, and other hypothalamo-hippocampal interactions: mechanisms and functional implications". *Neurosci Biobehav Rev*, 22(2), pp. 291-302.
- KOSSLYN, S.M., & OCHSNER, K.N. (1994): "In search of occipital activation during visual mental imagery". *Trends Neurosci*, 17(7), pp. 290-292.
- LEHMKUHLE, S.; GARZIA, R.P.; TURNER, L.; HASH, T., & BARO, J.A. (1993): "A defective visual pathway in children with reading disability". *N Engl J Med*, 328(14), pp. 989-996.
- LENZ, D.; KRAUEL, K.; FLECHTNER, H.H.; SCHADOW, J.; HINRICHS, H., & HERRMANN, C.S. (2010): "Altered evoked gamma-band responses reveal impaired early visual processing in ADHD children". *Neuropsychologia*, 48(7), pp. 1985-1993.
- LORENTE DE NO, R. (1938): "Analysis of the activity of the chains of internuncial neurons". *Journal of Neurophysiology*, 1(3), pp. 207-244.
- LUX, J. P. (1977): "Detection of learning disabilities using the visually evoked cortical potential". *J Pediatr Ophthalmol*, 14(4), pp. 248-253.
- MAURER, U.; BREM, S.; BUCHER, K.; KRANZ, F.; BENZ, R.; STEINHAUSEN, H.C., et al. (2007): "Impaired tuning of a fast occipito-temporal response for print in dyslexic children learning to read". *Brain*, 130(Pt 12), pp. 3200-3210.
- MILNER, A.D., & GOODALE, M.A. (1995): *The visual brain in action*. Oxford ; New York: Oxford University Press.
- MUNOZ-RUATA, J.; CARO-MARTINEZ, E.; MARTINEZ PEREZ, L., & BORJA, M. (2010): "Visual perception and frontal lobe in intellectual disabilities: a study with evoked potentials and neuropsychology". *J Intellect Disabil Res*, 54(12), pp. 1116-1129.
- MUNOZ-RUATA, J.; GOMEZ-JARABO, G.; MARTIN-LOECHES, M., & MARTINEZ-LEBRUSANT, L. (2000): "Neurophysiological and neuropsychological differences related to performance and verbal abilities in subjects with mild intellectual disability". *J Intellect Disabil Res*, 44 (Pt 5), pp. 567-578.
- MUÑOZ-RUATA, J. (2008): "Capacidad y discapacidad intelectual: Una propuesta semiótico-neurológica". *Ethos Educativo*, 41, pp. 77-98.

- NOVECK, I. A.; GOEL, V., & SMITH, K. W. (2004): "The neural basis of conditional reasoning with arbitrary content". *Cortex*, 40(4-5), pp. 613-622.
- ODOM, J. V.; BACH, M.; BRIGELL, M.; HOLDER, G.E.; MCCULLOCH, D.L.; TORMENE, A.P., *et al.* (2010): "ISCEV standard for clinical visual evoked potentials" (2009 update). *Doc Ophthalmol*, 120(1), pp. 111-119.
- OSAKA, M., & OSAKA, N. (1980): "Human intelligence and power spectral analysis of visual evoked potentials". *Percept Mot Skills*, 50(1), pp. 192-194.
- PALAU-BADUELL, M.; SALVADÓ-SALVADÓ, B.; CLOFENT-TORRENTÓ, M., & VALLS-SANTASUSANA, A. (2012): "Autismo y conectividad neural". *Rev Neurol*, 54 (Supl 1), S31-S39.
- PASCUAL-MARQUI, R.D.; ESSLEN, M.; KOCHI, K., & LEHMANN, D. (2002): "Functional imaging with low-resolution brain electromagnetic tomography (LORETA): a review". *Methods Find Exp Clin Pharmacol*, 24 Suppl C, pp. 91-95.
- PSATTA, D.M. (1981): "Visual evoked potential habituation in mental deficiency". *Biol Psychiatry*, 16(8), pp. 729-740.
- PUIG MONTADA, J. (2005): "Averroes: Comentario mayor al libro Acerca del alma de Aristóteles". Traducción parcial. *Anales del Seminario de Historia de la Filosofía*, 22, pp. 65-109.
- REVERBERI, C.; CHERUBINI, P.; FRACKOWIAK, R.S.; CALTAGIRONE, C.; PAULESU, E., & MACALUSO, E. (2010): "Conditional and syllogistic deductive tasks dissociate functionally during premise integration". *Hum Brain Mapp*, 31(9), pp. 1430-1445.
- RICHTER-LEVIN, G., & AKIRAV, I. (2003): "Emotional tagging of memory formation--in the search for neural mechanisms". *Brain Res Brain Res Rev*, 43(3), pp. 247-256.
- RITZINGER, B.; HUBERLE, E.; & KARNATH, H.O. (2012): "Bilateral theta-burst TMS to influence global gestalt perception". *PLoS One*, 7(10), e47820.
- SANDMAN, C. A., & BARRON, J. L. (1986): "Parameters of the event-related potential are related to functioning in the mentally retarded". *Int J Neurosci*, 29(1-2), pp. 37-44.
- SCHACK, B.; VATH, N.; PETSCHKE, H.; GEISSLER, H. G., & MOLLER, E. (2002): "Phase-coupling of theta-gamma EEG rhythms during short-term memory processing". *Int J Psychophysiol*, 44(2), pp. 143-163.
- SCHULTE-KORNE, G.; BARTLING, J.; DEIMEL, W., & REMSCHMIDT, H. (1999): "Attenuated hemispheric lateralization in dyslexia: evidence of a visual processing deficit". *Neuroreport*, 10(17), pp. 3697-3701.
- SCHULTE-KORNE, G., & BRUDER, J. (2010): "Clinical neurophysiology of visual and auditory processing in dyslexia: a review". *Clin Neurophysiol*, 121(11), pp. 1794-1809.
- SIROTA, A.; MONTGOMERY, S.; FUJISAWA, S.; ISOMURA, Y.; ZUGARO, M., & BUZSAKI, G. (2008): "Entrainment of neocortical neurons and gamma oscillations by the hippocampal theta rhythm". *Neuron*, 60(4), pp. 683-697.
- SUMMERFIELD, C.; EGNER, T.; GREENE, M.; KOEHLIN, E.; MANGELS, J., & HIRSCH, J. (2006): "Predictive codes for forthcoming perception in the frontal cortex". *Science*, 314(5803), pp. 1311-1314.
- TADEL, F.; BAILLET, S.; MOSHER, J.C.; PANTAZIS, D.; & LEAHY, R.M. (2011): "Brainstorm: a user-friendly application for MEG/EEG analysis". *Comput Intell Neurosci*, 2011, 879716.
- UNGERLEIDER, L.G., & MISHKIN, M. (1982): "Two cortical visual systems". In D. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior* (pp. 549-586): Cambridge, Mass.: MIT Press.
- WECHSLER, D. (1993): *WISC-R: Escalas de Inteligencia para Niños* (versión española). TEA, Madrid.
- WIEGMAN, M.J.; DE GROOT, J. C.; JANSONIUS, N.M.; AARNOUDSE, J. G., GROEN, H., FAAS, M.M., *et al.* (2012): "Long-term visual functioning after eclampsia". *Obstet Gynecol*, 119(5), pp. 959-966.
- ZURRON, M., & DIAZ, F. (1995): "Auditory and visual evoked potentials in individuals with organic and cultural-familial mental retardation". *Am J Ment Retard*, 100(3), pp. 271-282.

El autor

Jorge Muñoz Ruata

Es Doctor en Medicina. Psiquiatra dedicado a los trastornos de aprendizaje en la Fundación PROMIVA y profesor de Intervención Psicopedagógica en Deficiencia Mental en el Centro Universitario Villanueva de la Universidad Complutense de Madrid. Durante 12 años ha sido coordinador y profesor de los cursos de formación del profesorado. Ha participado en varios libros sobre educación, psiquiatría y neurociencia en editoriales nacionales y extranjeras. Ha dirigido varios proyectos de investigación sobre neurociencia y educación, y es autor de numerosas publicaciones científicas y ponencias.