

Educación la atención desde la neurociencia

Educating Attention from Neuroscience

M. Rosario Rueda, Ángela Conejero y Sonia Guerra

Departamento de Psicología Experimental y Centro de Investigación Mente,
Cerebro y Comportamiento (CIMCYC), Universidad de Granada, España

Resumen

La atención es un estado de activación adecuado que permite a un individuo seleccionar la información que desea procesar con mayor prioridad y eficacia, así como controlar de forma voluntaria y consciente el comportamiento. El desarrollo de la atención dota al niño de los mecanismos necesarios para ejercer una mayor y más eficaz regulación de los pensamientos, emociones y acciones. Las funciones atencionales experimentan un enorme desarrollo durante los años preescolares, aunque el proceso de maduración continúa durante toda la infancia y adolescencia. Este desarrollo se sustenta en la maduración de estructuras cerebrales fundamentalmente frontoparietales. Estudios recientes en el campo de la neurociencia cognitiva revelan que el funcionamiento de estas redes neurales se ve afectado tanto por factores de tipo genético como por las experiencias tempranas y la educación. El conocimiento de los procesos cognitivos y mecanismos cerebrales que subyacen a la atención ayuda a elaborar estrategias educativas que optimizan el desarrollo de esta importante capacidad y promueven el ajuste socio-emocional de los niños y su capacidad de aprendizaje en el aula.

Palabras clave: atención, desarrollo cognitivo, neurociencia, redes atencionales, control ejecutivo

Correspondencia a:

M. Rosario Rueda
Departamento de Psicología Experimental y Centro de Investigación Mente,
Cerebro y Comportamiento (CIMCYC)
Campus de Cartuja s/n, 18071 Granada, España
Correo electrónico: rorueda@ugr.es
Trabajo financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España (proyecto ref. PSI2014. 55833-P), así como becas de Formación de Personal Investigador otorgadas a AC (ref. AC-2010-3525) y SGR (ref. BES-2012-054072).

© 2016 PEL, <http://www.pensamientoeducativo.org> - <http://www.pel.cl>

ISSN: 0719-0409 DDI: 203.262, Santiago, Chile
doi: 10.7764/PEL.53.1.2016.3

Abstract

Attention is a state of activation that allows individuals to select the information to be processed with priority and efficacy, as well as to control behaviour in a voluntary and conscious way. The development of attention provides the child with the necessary mechanisms to exert a greater and more effective regulation of thoughts, emotions and actions. Attentional functions undergo an extraordinary development during the preschool years, although the developmental process continues throughout childhood and adolescence. The development of attention is supported by the maturation of frontoparietal brain structures. Research in the field of cognitive neuroscience has recently shown that the function of attention-related neural networks is influenced by both genetic factors and early experiences and education. Understanding cognitive processes and brain mechanisms underlying attention, has the potential to help designing educational strategies that optimize the development of this important capacity and promote children socio-emotional adjustment and their ability to learn at school.

Keywords: attention, cognitive development, neuroscience, attention networks, executive control

¿Qué es la atención?

No es fácil definir la atención. Esto es porque *atender* tiene que ver con una variedad de aspectos, todos ellos importantes para nuestras actividades cotidianas. Por ejemplo, si alguien me habla mientras trato de leer algo, lo más probable es que o bien entienda lo que me dicen o bien entienda lo que leo. En ese caso atender significa *seleccionar* la fuente de estimulación (lo que me dicen o lo que leo) a la que quiero dar prioridad. La selección de la información también se puede hacer de forma refleja, o dicho de otro modo, motivada por un cambio externo en la estimulación. Así, si se produce un cambio repentino en luminosidad o sonido en un lugar del entorno, este cambio estimular va a captar nuestra atención y hacer que nos orientemos hacia esa posición. Pero atender también es necesario para controlar nuestras acciones en función de las metas que tengamos y no cometer errores. Con mucha frecuencia hacemos cosas de forma automática, algo que es altamente adaptativo, ya que hacerlo todo con atención sería excesivamente lento y poco efectivo. Pero hacer cosas automáticamente en ocasiones nos lleva a cometer errores. Por ejemplo, si estamos guardando los objetos de la cocina mientras hacemos algo que nos demanda mucha atención (como mantener una conversación en el teléfono o simplemente pensar en algo que nos preocupa), podemos fácilmente equivocarnos y colocar el azucarero en la nevera sin darnos cuenta. Esto sucede porque la atención es un recurso limitado, y cuando este recurso es escaso nuestro comportamiento queda a merced de automatismos. Atender es entonces una forma de *control* de la acción que es especialmente necesaria cuando los automatismos no nos conducen a hacer lo que queremos, algo que está muy relacionado con la capacidad de *autorregulación*. Finalmente, atender requiere también un nivel óptimo de activación. No podemos atender con eficacia si estamos adormilados. A veces, determinados eventos nos ayudan a estar más atentos. Por ejemplo, el sonido cercano de una ambulancia nos hará conducir con más atención. La *preparación* y la *activación* son por tanto aspectos íntimamente relacionados con la eficacia con la que se atiende. En definitiva, actuar con atención consiste en estar en un estado de *activación* adecuado que nos permita *seleccionar* la información que queremos procesar con prioridad y eficacia con objeto de *controlar* de forma voluntaria y consciente nuestro comportamiento.

A lo largo de los años, la psicología cognitiva ha proporcionado métodos para medir estas funciones de la atención de forma precisa. En la segunda mitad del siglo XX, aprovechando el desarrollo de la tecnología de la información, se diseñaron tareas de ordenador con las que medir procesos cognitivos con mucha precisión. Para medir el efecto de la activación o alerta, tradicionalmente se han usado señales de aviso (v. g. señales auditivas o visuales de preparación), mientras que para medir la orientación, se han usado señales visuales que aparecen en posiciones concretas de la pantalla con anterioridad a la aparición de los estímulos a los que es necesario responder. Las señales de alerta no orientan la atención a una posición particular, pero tienen un efecto de preparación. Las señales de orientación son generalmente de dos tipos: (a) válidas, cuando orientan la atención a la posición de la pantalla en la que posteriormente aparece el estímulo al que responder, o (b) inválidas, cuando orientan la atención a una posición incorrecta, de la que será necesario desenganchar y reorientar la atención una vez que aparezca el estímulo objetivo. Por

otro lado, las tareas que se usan con más frecuencia para medir el control atencional, también llamado *atención ejecutiva*, son las llamadas *tareas de conflicto*. En general, estas tareas requieren seleccionar una respuesta no-dominante en presencia de estimulación que sugiere otra respuesta que es dominante pero incorrecta. La respuesta sugerida pero incorrecta induce a conflicto, el cual debe ser resuelto de cara a seleccionar la respuesta apropiada. El conflicto entre estímulos o respuestas puede ser provocado de diversos modos. Un modo de inducir a conflicto es presentar información distractora que es irrelevante para la tarea pero que sugiere respuestas incompatibles con la correcta. Este es el caso de las tareas de flancos (Eriksen & Eriksen, 1974). Generalmente, se pide responder a un estímulo presentado en el centro (por ejemplo, indicar la dirección en que apunta el pez en la tarea ilustrada en la Figura 1) y se presentan estímulos a los lados que sugieren bien la misma respuesta (ensayos congruentes), bien la respuesta contraria (ensayos incongruentes). La sustracción entre el tiempo de respuesta o su precisión en ensayos incongruentes y congruentes proporciona un índice de interferencia de flancos, indicativo del coste en velocidad o precisión de la respuesta debido a la necesidad de resolver el conflicto inducido por la información distractora.

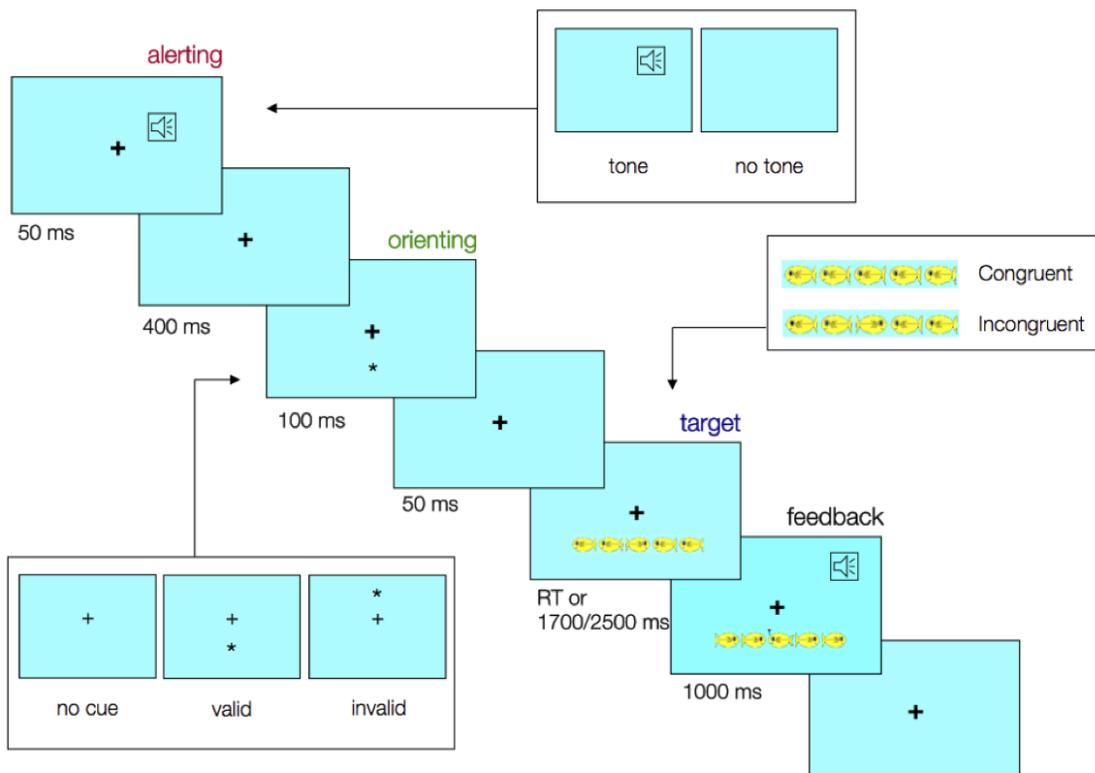


Figura 1. Representación esquemática de la versión infantil de la tarea de las redes atencionales.

Incorporando la lógica de estos distintos procedimientos a una misma tarea, Fan, McCandliss, Sommer, Raz y Posner (2002) desarrollaron la llamada tarea de las redes atencionales (ANT, del inglés Attention Network Task), que posteriormente se adaptó a población infantil (Rueda et al., 2004; véase la Figura 1). En esta tarea se pide indicar la dirección en la que apunta el estímulo central (flecha en la versión adulta o pez en la versión infantil) pulsando una tecla, una labor suficientemente sencilla para que pueda ser realizada por niños desde aproximadamente 3-4 años de edad en adelante. La ANT proporciona puntuaciones de cada una de las funciones atencionales descritas anteriormente, ya que permite contrastar la ejecución tanto en términos de velocidad de respuesta como de su precisión en condiciones con *vs* sin señal de aviso (puntuación de alerta), orientación válida *vs* inválida (puntuación de orientación), y en condiciones de flancos congruentes *vs* incongruentes (puntuación de atención ejecutiva).

Neuroanatomía de la atención

El cerebro es el órgano de la cognición, por lo que resulta de gran utilidad estudiar su funcionamiento y su desarrollo para entender el funcionamiento y desarrollo de las distintas funciones cognitivas. En las últimas décadas, ha habido un gran desarrollo de la tecnología que nos permite examinar el funcionamiento del cerebro en vivo, a la vez que las personas realizan tareas con las que medir funciones cognitivas. Con estas técnicas, podemos determinar la anatomía de estas funciones y conocer los mecanismos biológicos que las sustentan.

Diferenciar los tres aspectos de la atención (activación, selección y control) que acabamos de definir es relevante, ya que cada uno de ellos está asociado con el funcionamiento de regiones distintas del cerebro. En la Figura 2 se pueden ver a grandes rasgos la anatomía de cada una de las redes atencionales (regiones implicadas en cada función atencional), así como el tiempo de activación y los neurotransmisores que modulan la activación de cada una de ellas. Esta figura presenta información sobre las bases cerebrales de las funciones atencionales obtenida con distintas metodologías: electroencefalografía (EEG), resonancia magnética funcional (fMRI) y manipulaciones farmacológicas. Los datos de tiempo de activación muestran que el cerebro responde desde muy temprano (en torno a 100 milisegundos) a señales de alerta y orientación. Las señales de orientación válidas potencian la respuesta de regiones occipito-parietales implicadas en el procesamiento perceptual, mientras que las señales inválidas producen activación en regiones parietales y frontales implicadas en dirigir la atención de una posición a otra de forma voluntaria. La activación de estas regiones se modula por los niveles de acetilcolina en el cerebro. Las señales de preparación son procesadas desde muy temprano desde estructuras subcorticales, como el *locus coeruleus* en el tronco encefálico, la principal fuente de norepinefrina para la corteza cerebral. Estas señales producen una señal sostenida, llamada CNV (del inglés Contingent Negative Variation), generada por estructuras del lóbulo frontal que se asocian con atención sostenida. Finalmente, la red de atención ejecutiva tiene un nodo principal en la parte anterior del giro cingulado, así como en los ganglios basales y otras regiones frontoparietales. Unas condiciones con mayor carga de control atencional (v. g., flancos incongruentes) producen consistentemente una modulación de la amplitud de la señal de EEG en torno a los 200-300 milisegundos, una señal que se asocia con mayor activación en el cíngulo anterior y que se relaciona con la detección y resolución de conflicto. Los niveles de dopamina y serotonina en estas regiones modulan la activación de esta red (véase Rueda, Pozuelos, & Cómbita, 2015), para una revisión más exhaustiva de los mecanismos cerebrales asociados con las redes atencionales).

| Función | Contraste | Tiempo de activación (Abundis-Gutiérrez et al. 2014) | Anatomía (Fan et al., 2005) | Neuroquímica (Marrocco & Davidson, 1998) |
|--------------------|-------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Alerta | No señal - señal | | | Norepinefrina |
| Orientación | Inválida - Válida | | | Acetilcolina |
| Control | Incongruente - congruente | | | Dopamina, Serotonina |

Figura 2. Representación de distintos niveles de conocimiento acerca de las redes atencionales. El contraste muestra las condiciones experimentales que con frecuencia se usan para medir cada una de las funciones de la atención. En la columna de tiempo de activación se muestran potenciales evocados asociados a dichas condiciones y en la columna de anatomía se muestran las estructuras cerebrales activadas al contrastar estas condiciones. Finalmente, la columna de la derecha muestra los neurotransmisores que han sido asociados con cada una de las funciones atencionales.

La anatomía diferencial nos indica que los distintos aspectos de la atención tienen que ver con los neurotransmisores (sustancias químicas que las neuronas usan para comunicarse unas con otras) que actúan preferentemente en estas regiones, y también con los genes que determinan, al menos en parte, los niveles de neurotransmisores en el cerebro. Además, la anatomía diferencial proporciona una explicación para el hecho de que las capacidades de activación, selección y control tengan cursos de desarrollo distintos durante la infancia y la adolescencia.

Desarrollo de la atención

De entre todas las redes atencionales, la red de alerta es la que parece tener un desarrollo más rápido. Ya alrededor de las 12 semanas de vida se observa un cambio en la capacidad de los bebés para mantener el estado de alerta. Mientras que los bebés neonatos raramente son capaces de mantenerse despiertos y dedican la mayor parte del día a dormir, a partir de esta edad comienzan a ser más activos, y se incrementa de forma significativa el porcentaje de horas al día que pueden estar despiertos (Colombo & Horowitz, 1987). No obstante, su capacidad para sostener la atención aún depende de la estimulación sensorial externa, proporcionada en gran medida por sus cuidadores. Es por ello que a los 3 meses la atención se considera aún esencialmente *reactiva*, ya que la red de alerta responde en mayor medida a eventos exógenos o utiliza mecanismos de *arousal* de bajo nivel (Rueda & Posner, 2013). Entre los 3 meses y un año de edad, se observan cambios en la capacidad para sostener la atención, dependientes de la complejidad del estímulo. Mientras que conforme los niños van creciendo pierden el interés más rápidamente ante estímulos simples, como lo sería una composición de figuras geométricas o rostros estáticos, se incrementa el tiempo que son capaces de atender a una estimulación más compleja, como por ejemplo, una escena dinámica perteneciente a un programa de televisión infantil (Courage, Reynolds, & Richards 2006). Entre el primer y el segundo año, la capacidad de sostener la atención sigue incrementándose. Así pues, durante una situación de juego libre, los niños de un año de edad experimentan un declive de la atención sobre los juguetes a lo largo del tiempo de juego, no observándose dicho declive de la atención en los niños de dos años (Ruff & Lawson, 1990).

Más adelante, cuando los niños adquieren la capacidad para comprender y seguir instrucciones, podemos diseñar tareas para observar cómo se desarrollan los mecanismos necesarios para mantener un estado de alerta de manera endógena. Un tipo de tareas muy conocidas y utilizadas son las llamadas *tareas de ejecución continua*. En esas tareas, pedimos a los niños que den una respuesta determinada (v. g., pulsar una tecla cada vez que aparezca la letra *a* en una pantalla) a una serie de estímulos (v. g., distintas letras) que se presentan durante un período de tiempo más o menos prolongado. La capacidad de los niños para mantener el estado de alerta durante la tarea mejora considerablemente en los años preescolares (Danis, Pecheux, Lefevre, Bourdais, & Serres-Ruel, 2008), y continúa desarrollándose progresivamente hasta alcanzar niveles de ejecución similares a los de los adultos alrededor de los 13 años de edad (Lin, Hsiao, & Chen, 1999).

Por su parte, la red de orientación de la atención sufre un gran desarrollo entre los 3 y los 4 meses de edad. Antes, los bebés experimentan lo que se ha llamado *atención obligatoria*. Este fenómeno consiste en una gran dificultad para desenganchar su mirada de un objeto para dirigir su atención a un objeto distinto (Hood, 1995). Entre los 3-4 meses los bebés ya son capaces de desenganchar su atención de estímulos a los que se han habituado (Johnson, Posner, & Rothbart, 1991). Además, a partir de esta edad los bebés pueden orientarse más rápidamente hacia un estímulo cuando es precedido por una señal que indica dónde aparecerá, tal y como ocurre en adultos (Johnson, 1994; Johnson & Tucker, 1996). Sin embargo, la habilidad para desenganchar la atención de forma voluntaria (es decir, orientar de forma endógena la atención en lugar de reaccionar automáticamente a la estimulación externa) no aparece hasta alrededor de los 18 meses de edad (Ruff & Rothbart, 1996). Durante los años preescolares y a lo largo del resto de la infancia, la rapidez con la cual los niños son capaces de redirigir su atención en función de señales de orientación continúa aumentando (Schul, Townsend, & Stiles, 2003). También su capacidad de dirigir voluntariamente la atención mejora entre los 6 y los 14 años. A partir de los 6 años de edad los niños se benefician de tener intervalos de tiempo mayores entre la señal de orientación y la aparición del estímulo al que es necesario responder, ya que pueden utilizar ese tiempo para orientar la atención de forma voluntaria hacia donde sea preciso (Wainwright & Bryson, 2005).

El desarrollo de la red de atención ejecutiva en los primeros meses de vida se sustenta en parte en los mecanismos de orientación de la atención, cuando surgen los primeros mecanismos de control endógeno. A los 6 meses aparecen los primeros indicios de un incipiente control atencional. A esta edad, los bebés son capaces de inhibir la atención hacia estímulos irrelevantes que puedan distraerles de observar algo más interesante sobre lo que aprender (Holmboe, Fearon, Csibra, Tucker, & Johnson, 2008). Conforme maduran las estructuras más frontales del cerebro (y muy en particular la corteza cingulada anterior y sus conexiones con otras estructuras), los niños van demostrando una conducta más flexible y adaptada. Hay evidencia de que los circuitos de la red de atención ejecutiva comienzan a ser funcionales al final del primer año de vida (Diamond, 1990, 2006). Por ejemplo, Berger, Tzur y Posner (2006) mostraron que en torno a los 9 meses de edad los bebés muestran una activación cerebral asociada a estructuras frontales de la línea media cuando observan errores de tipo aritmético (v. g., se presenta un muñeco, se oculta con una pantalla, y a continuación se añade otro, pero cuando se quita la pantalla aparece un solo muñeco en lugar de dos). Este tipo de respuesta cerebral ante el error también se observa en adultos cuando observan o cometen un error, y está asociada a la detección de conflicto (en este caso entre lo esperado y lo acontecido), propia de la red de atención ejecutiva.

Entre los 2 y tres años de edad también se observa una mejora en la capacidad que tienen los niños de seleccionar entre distintas respuestas que compiten entre sí. En una tarea de conflicto espacial en la que los niños deben seleccionar la casa de un determinado animal entre dos casas situadas a cada lado de la pantalla, a partir de los 30 meses los niños resuelven mejor el conflicto provocado por la situación en la que el animal aparece encima de la casa opuesta a la correcta. Sin embargo, aunque son capaces de inhibir la respuesta automática de seleccionar la casa justo debajo del animal para dar la respuesta al lado contrario y cometen menos errores, aún siguen siendo mucho más lentos en responder. El tiempo de reacción (TR) nos proporciona una medida de conflicto con la que examinar la eficacia de funcionamiento de la atención ejecutiva. Así, unos mayores efectos de conflicto (mayor diferencia en TR entre condiciones sin y con conflicto espacial) son indicativos de una menor eficacia de la atención ejecutiva (Gerardi-Caulton, 2000). A juzgar por los datos obtenidos con este tipo de tareas, no es sino al final de la infancia que la red de atención ejecutiva alcanza un grado de eficacia similar al del adulto (Pozuelos, Paz-Alonso, Castillo, Fuentes, & Rueda, 2014), siendo la red atencional con un desarrollo más tardío y prolongado.

Utilizando la versión infantil de la tarea ANT que presentamos en la sección anterior (Figura 1), varios estudios han trazado el desarrollo de las tres redes atencionales. Rueda et al. (2004), en su estudio con niños entre los 6 y 10 años de edad, revelaron que cada red seguía un curso diferente de desarrollo, con puntuaciones de alerta que se mantenían estables durante este período y sin diferencias tampoco en la red de orientación (lo que indicaba una maduración más temprana de estas redes), pero con un incremento considerable en la eficiencia de la red de atención ejecutiva entre los 6 y 7 años, sin grandes cambios a partir de esta edad. Un estudio posterior que incluyó señales inválidas para estudiar el desarrollo de la red de orientación reveló que, aunque el patrón de desarrollo para las redes de alerta y atención ejecutiva era el mismo que el encontrado por Rueda et al. (2004), en el caso de la red de orientación aún continuaba su desarrollo durante este periodo (Pozuelos et al., 2014). Abundis-Guitierrez, Checa, Castellanos y Rueda (2014), utilizando también la ANT infantil, analizaron los mecanismos neurales relacionados con el desarrollo de cada una de las redes. Para ello, registraron la actividad cerebral mediante electroencefalografía. Las respuestas cerebrales asociadas al procesamiento de los estímulos (o potenciales evocados) pueden diferir en cuanto a latencia (es decir, tiempo que tarda en aparecer la activación cerebral), amplitud (magnitud de la activación) o duración (tiempo que se mantiene la activación). Descubrieron que las diferencias debidas a la edad eran más patentes en potenciales evocados tempranos, es decir, en las primeras etapas de procesamiento de los estímulos (Figura 2). Por debajo de los 10 años, las señales de alerta (en esta tarea, un tono que precedía al estímulo) se procesaban deficientemente. Mientras adultos y niños de esa edad mostraban una respuesta muy temprana a nivel cerebral tras la señal de alerta, relacionada con la preparación del individuo para procesar los estímulos que aparecerían a continuación (N1), los niños más pequeños no mostraron este tipo de activación cerebral asociada a la señal de alerta. Con respecto a la red de orientación, los autores descubrieron que por debajo de los 9 años de edad, los niños necesitaban activar en mayor grado la red de orientación para lograr servirse de las señales que les ayudaban a orientar su atención. Esto se observó de nuevo en los potenciales evocados más tempranos, con una activación neural de mayor amplitud y más sostenida en el tiempo para los niños más pequeños, que se ha asociado a la necesidad de ejercer un mayor esfuerzo cognitivo. Finalmente, en cuanto a la red de atención ejecutiva, los potenciales evocados asociados al procesamiento del conflicto (N2) aparecen de forma más tardía en los niños en comparación con los adultos. Es decir, el cerebro de los más pequeños

tarda algo más en responder cuando tiene que procesar este tipo de situaciones que requieren de la atención ejecutiva, disminuyendo la latencia con la edad.

En definitiva, desde muy temprano en el desarrollo se puede ver cómo los circuitos cerebrales correspondientes a cada una de estas redes comienzan a estar ya preparados para asumir ciertas funciones. Esto no significa que no continuemos observando cambios evolutivos más adelante. Más bien al contrario: el desarrollo de las redes se prolonga a lo largo de la infancia hasta la edad adulta. Con todo, desde las primeras etapas de desarrollo ya podemos ver que existen diferencias entre las personas en la eficiencia de su atención. En la siguiente sección expondremos evidencia sobre los factores que suponen una fuente de variabilidad de las capacidades atencionales en el desarrollo, tratando la posible influencia de variables tanto genéticas como ambientales.

Diferencias individuales en las capacidades atencionales

Factores genéticos

Un primer paso para estudiar la influencia de factores genéticos en la capacidad de la atención es examinar su heredabilidad mediante estudios con gemelos. Uno de estos estudios comparó la ejecución en la tarea ANT de gemelos monocigóticos (gemelos idénticos que comparten el 100% de los genes) y dicigóticos (lo que se conoce comúnmente como *mellizos*, no compartiendo más genes que cualquier otro par de hermanos). Descubrieron que en gemelos monocigóticos, la concordancia entre sus puntuaciones en los índices correspondientes a las redes de alerta y atención ejecutiva (no así en la de orientación) era mayor que en el caso de gemelos dicigóticos (Fan, Wu, Fossella, & Posner, 2001). Esto nos indica que las redes de alerta y atención ejecutiva, aunque no la red de orientación, tendrían un importante componente hereditario.

Otra parte de la investigación se ha centrado en identificar genes que pueden estar relacionados con la eficiencia de cada una de las redes de atención. Para ello, una forma de reducir la lista de genes candidatos a influir en el funcionamiento de cada una de las redes atencionales es considerar los genes cuyas variaciones polimórficas modulan los niveles de neurotransmisores en el cerebro asociados con cada una de las redes atencionales. Los neurotransmisores asociados con cada red atencional se muestran en la Figura 2. De este modo, diversos estudios han examinado la relación entre genes relacionados con los niveles de dopamina en el cerebro y el funcionamiento de la red de atención ejecutiva. Estos estudios han mostrado que variaciones polimórficas en genes como el DAT1, DRD4 y COMT, los cuales influyen en la cantidad de dopamina disponible en la corteza prefrontal, explican al menos parcialmente diferencias individuales en la capacidad de atención ejecutiva medida con puntuaciones en tareas experimentales (Congdon, Lesch, & Canli, 2008) y también a nivel de funcionamiento cerebral (Congdon, Constable, Lesch, & Canli, 2009; Mueller, Makeig, Stemmler, Hennig, & Wacker, 2011). Del mismo modo, se ha establecido una relación significativa entre variaciones en genes que regulan la función de los receptores colinérgicos, como el CHRNA4, con la ejecución de tareas de atención selectiva (Greenwood, Parasuraman, & Espeseth, 2012). Además, se han asociado marcadores genéticos colinérgicos y dopaminérgicos con diferencias individuales en rasgos temperamentales relacionados con el control ejecutivo y la autorregulación (Posner, Rothbart, & Sheese, 2007).

Factores ambientales

Aunque la herencia genética ha demostrado tener un papel importante en el desarrollo de la atención, no menos importante es aquel que desempeñan variables de tipo ambiental y educativo. Cuando hacemos referencia a factores ambientales, consideramos aquellos elementos de nuestro entorno relacionados con el estatus socioeconómico, como el nivel de educación de los padres, la ocupación profesional o el nivel de ingresos familiar.

Diversos estudios ponen de manifiesto que pertenecer a un nivel socioeconómico bajo o encontrarse en situación de pobreza se relaciona con una peor ejecución de tareas cognitivas, sobre todo si estas requieren de la atención ejecutiva (Duncan, Yeung, Brooks-Gunn, & Smith, 1998; Noble, McCandliss,

& Farah, 2007). En un estudio realizado con niños de entre 6 y 7 años de edad en el que utilizaron la versión infantil de la ANT, se reveló que los niños con un estatus socioeconómico bajo presentan una peor eficiencia en las redes de alerta y atención ejecutiva en comparación con niños de familias de mayor estatus socioeconómico, aunque no se observaron diferencias para la red de orientación (Mezzacappa, 2004). Otros estudios, sin embargo, han revelado diferencias en la capacidad de selección atencional en niños en función del nivel educativo de sus cuidadores. En este sentido, Stevens, Lauinger y Neville (2009), utilizando una tarea de escucha dicótica consistente en atender a lo escuchado por un oído e ignorar lo escuchado simultáneamente por el otro oído, mostraron que los niños de familias con nivel educativo más bajo presentaban más dificultad en ignorar la información presentada en el canal ignorado, mostrando una activación cerebral más similar para la información ignorada y atendida que los niños de familias con un nivel educativo más alto (Stevens et al., 2009).

Cabe destacar que los efectos del ambiente sobre el desarrollo de la atención ejecutiva son observables desde muy temprano. Utilizando una tarea A-no B se ha mostrado que bebés de alrededor de un año de vida criados en familias con un nivel socioeconómico más bajo, cometen un mayor número de perseveraciones, volviendo a buscar un juguete escondido en una localización anterior pero que ya ha dejado de ser correcta, un comportamiento indicativo de menor flexibilidad atencional (Lipina, Martelli, Vuelta, & Colombo, 2005).

El efecto del nivel socioeconómico no solo se ha observado sobre las medidas comportamentales, sino que también se ha comprobado cómo afecta al desarrollo de distintas estructuras cerebrales. Más concretamente, un menor estatus socioeconómico se ha relacionado con un menor volumen de estructuras de la corteza prefrontal pertenecientes a la red de atención ejecutiva (Clearfield & Jedd, 2013; Lawson, Duda, Avants, Wu, & Farah, 2013).

Otro aspecto del entorno que se ha relacionado con la eficiencia de la red de atención ejecutiva es la forma en la que se establecen las relaciones padres-hijos, incluidas las prácticas de crianza utilizadas por los padres, el tipo de apego desarrollado por los niños hacia sus cuidadores, el estilo parental adoptado y la sensibilidad del cuidador a las necesidades de los niños. Se ha observado que cuando los cuidadores proporcionan un apoyo dirigido a promover la autonomía del niño (como, por ejemplo, enseñándole estrategias adecuadas a su nivel de competencia para poder resolver los problemas, dándole la oportunidad para que pueda utilizarlas), esto repercute en el mejor desempeño de los niños en tareas que requieren de la atención ejecutiva (Bernier, Carlson, & Whipple, 2010).

Toda esta evidencia pone de manifiesto que la experiencia puede modular el desarrollo de la atención. Esto sugiere que el cerebro, y por ende también las capacidades cognitivas, tiene una gran capacidad plástica y que si proporcionamos las experiencias adecuadas podemos promover un desarrollo óptimo de habilidades mentales. Por este motivo, intervenciones que tienen como objetivo el entrenamiento de funciones cognitivas suponen una buena herramienta no solo para la mejora de las capacidades de los niños y su rendimiento académico, sino para la prevención de alteraciones de la atención. Como veremos más adelante, conocer los mecanismos cerebrales a la base del desarrollo de la atención nos servirá para conocer y testar los efectos de programas de intervención y mejorar su diseño.

Atención en la escuela

El desarrollo del control atencional durante la infancia y la adolescencia tiene una fuerte implicación en factores relacionados con la educación como pueden ser el ajuste socioemocional y el rendimiento académico (Rueda, Checa, & Rothbart, 2010). A medida que los sistemas de autorregulación se desarrollan, los niños poseen una mayor capacidad para controlar la reactividad y ajustarse a las normas o metas, abordar con flexibilidad situaciones que temen o inhibir acciones que desean (Derryberry & Rothbart, 1997; Rothbart & Derryberry, 1981). Esta capacidad para regular la atención a través del control voluntario se ha relacionado con la empatía que los niños muestran hacia los demás y su capacidad para evitar mentir o engañar, y unos altos índices de control voluntario se relacionan con un menor número de comportamientos antisociales en adolescentes (Rothbart, 2011). En general, una baja o moderada reactividad temperamental, tanto positiva (impulsividad y nivel de actividad) como negativa (miedo, ira, etc.), junto con una buena habilidad de autorregulación, proporciona mejores posibilidades para una adecuada socialización y el éxito escolar en niños.

Es probable que los mecanismos de autorregulación relacionados con la activación de la red de atención ejecutiva desempeñen un papel en la relación entre el bajo control voluntario y una socialización deficiente. En un estudio realizado con una tarea de flancos y potenciales evocados, se ha demostrado que los niños que cometen más errores en los ensayos incongruentes son los que muestran una menor amplitud en el componente ERN (del inglés *Error-Related Negativity*), componente que aparece tras cometer un error y que se asocia con la activación de la red de atención ejecutiva. Por otra parte, la amplitud del ERN se asocia con el comportamiento social. Tras aplicar un autocuestionario de personalidad, se ha mostrado que los niños con peor sensibilidad social muestran una menor amplitud en el componente ERN (Santesso, Segalowitz, & Schmidt, 2005). Este conjunto de datos indica que los niños que peor socializan tienen una mayor dificultad para experimentar o apreciar el significado emocional de los errores debido a respuestas menos eficientes de la red de atención ejecutiva.

La atención y las habilidades de autorregulación son clave para la preparación escolar debido a su capacidad para predecir el rendimiento posterior en la escuela (Duncan et al., 2007). En un estudio realizado con niños de 12 años se observó que quienes obtenían mejores calificaciones académicas y que además mostraban un mejor desempeño escolar eran los que presentaban un mejor ajuste social (Checa, Rodríguez-Bailon, & Rueda, 2008). Algunos autores han propuesto que el principal factor de promoción de las competencias escolares son las relaciones sociales positivas en la escuela (Mashburn & Pianta, 2006). Sin embargo, los datos del estudio de Checa, Rodríguez-Bailon y Rueda (2008) muestran que la relación positiva entre socialización y habilidades escolares importantes para el éxito escolar, como el seguimiento de reglas y la tolerancia a la frustración, está mediada por la capacidad de control atencional y de regulación de los niños.

En la literatura cognitiva, se encuentra una alta relación entre la atención ejecutiva y las funciones ejecutivas (FE). Este término hace referencia a una familia de procesos cognitivos asociados al control y regulación voluntaria y consciente del pensamiento y la acción. Una idea ampliamente aceptada es que las FE se dividen en tres dominios principales: memoria de trabajo, control inhibitorio y flexibilidad cognitiva (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000). En este sentido, el concepto de atención ejecutiva coincide en gran medida con las FE de control inhibitorio y flexibilidad cognitiva.

La atención ejecutiva y las FE representan la base de la inteligencia fluida, definida como un conjunto de capacidades de orden superior como son el razonamiento, la resolución de problemas y la planificación. Tales habilidades son de gran importancia en cualquier contexto de la vida de un niño, pero especialmente en el escolar, en el que continuamente han de enfrentarse a situaciones de aprendizaje novedosas que requieren un comportamiento organizado, estratégico y eficiente (Anderson, 2002).

La investigación longitudinal sugiere que la atención ejecutiva es un componente integral y contribuye al logro académico (Bull, Espy, & Wiebe, 2008; Rueda et al., 2010). Algunos estudios indican que la capacidad de memoria de trabajo y de control de la inhibición en preescolar predice las notas en matemáticas al final del primer curso de primaria (Monette, Bigras, & Guay, 2011). Como vimos al inicio del artículo, los primeros años de la educación primaria representan un período crítico en el desarrollo de la flexibilidad cognitiva, existen datos que relacionan la flexibilidad cognitiva con la preparación escolar y el rendimiento académico (Yeniad, Malda, Mesman, van IJzendoorn, & Pieper, 2013). Esta relación se da también a nivel de activación de la red de atención ejecutiva. En una investigación con potenciales evocados, Checa et al. (2008) encuentran que el efecto de interferencia de flancos en el componente N2 predice la nota de matemáticas en niños de 12 años de edad.

Toda esta evidencia habla en favor de la importancia de promover las capacidades cognitivas y los mecanismos más eficientes de atención ejecutiva durante el desarrollo, como la inhibición de la interferencia, la resolución del conflicto, la flexibilidad cognitiva o la memoria de trabajo. La intervención a través de programas de entrenamiento en diferentes procesos cognitivos y emocionales en un periodo tan importante como la infancia puede lograr un impacto positivo directamente sobre las redes cerebrales que sustentan la atención ejecutiva y la regulación tanto a nivel cognitivo como emocional, y promover así una mejora del rendimiento escolar, la competencia académica, las habilidades socioemocionales y la socialización.

Entrenamiento de la atención

La capacidad del cerebro para cambiar con la experiencia (i.e. plasticidad) abre una importante oportunidad para realizar intervenciones durante el desarrollo, con el fin de impactar sobre aquellas habilidades cognitivas que sabemos que son cruciales para el aprendizaje escolar. Es por ello que existe un creciente número de estudios interesados en conocer el efecto que diferentes programas de entrenamiento ejercen sobre el rendimiento cognitivo y las estructuras cerebrales que le sustentan.

El entrenamiento implica practicar con uno o varios ejercicios, generalmente informatizados, que son diseñados específicamente para estimular determinada capacidad cognitiva. Estos entrenamientos enfocados en procesos utilizan como principal herramienta ejercicios basados en los principios sustraídos de tareas clásicas utilizadas por la Psicología Cognitiva. La idea es que a través de la práctica repetitiva del ejercicio, junto con el incremento paulatino en dificultad, se logre fortalecer los procesos cognitivos que son reclutados para la correcta ejecución del ejercicio. En la Figura 3 se muestran algunos de los ejercicios utilizados para entrenar FE. En el ejercicio de *Retratos*, el participante debe elegir el retrato de entre los dos de la parte inferior que es exactamente igual al de la muestra. La comparación se hace más difícil en niveles sucesivos para fomentar la focalización atencional y discriminación perceptual. En los niveles de mayor dificultad, el retrato de muestra desaparece y debe ser retenido en la memoria para hacer la igualación. El ejercicio del *Granjero* entrena el control inhibitorio. En este juego el participante, en primer lugar, debe seleccionar con un clic el montón de paja; si lo que se muestra a continuación es una oveja, deberá seleccionarla con rapidez para hacer que la oveja entre en la zona vallada. Por el contrario, si lo que aparece detrás del montón de paja es un lobo, el participante debe inhibir la respuesta y esperar que desaparezca el lobo. En los ensayos de señal de stop, en lobo aparece disfrazado de oveja y pierde la máscara tras un breve intervalo. En este caso, la demanda de control inhibitorio es mayor. En el ejercicio de *Formas*, el participante debe pulsar los botones de los lados para indicar cuales son las formas presentes en el centro. Debe recordar los botones ya pulsados para no dar respuestas reiterativas que son consideradas incorrectas. En los niveles de mayor dificultad, las formas son abstractas y dibujadas con líneas punteadas. Finalmente, *Cielo o Tierra* es un ejercicio de entrenamiento de la atención ejecutiva. Consiste en categorizar la figura del centro respecto a si normalmente se desplaza por el cielo (pulsando el botón de nubes) o si se desplaza por la tierra (pulsando el botón de árboles). En los niveles de categorización invertida, indicados por un rostro invertido, se deben clasificar los elementos que se desplazan en por el cielo en el botón de tierra y viceversa.

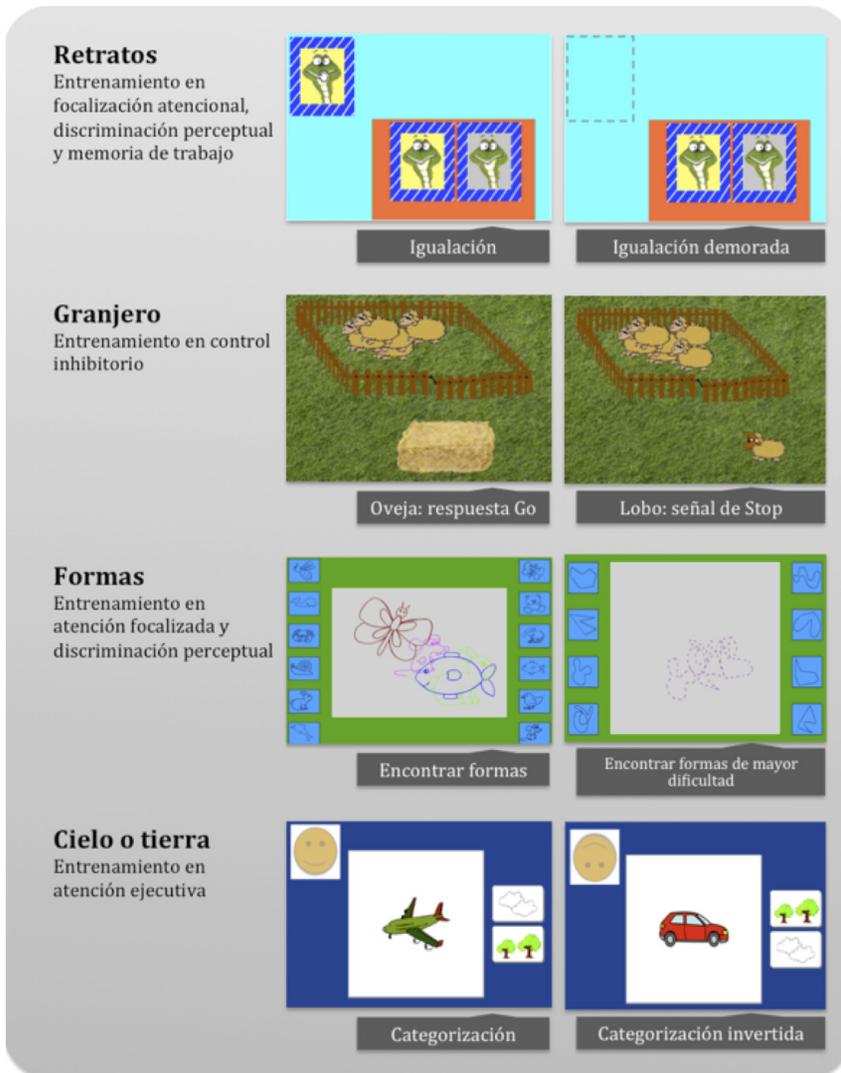


Figura 3. Muestra de ejercicios de entrenamiento de la atención usados en Rueda, Checa y Cómbita (2012).

Un creciente número de estudios muestra que la realización de programas de entrenamiento de este tipo mejora las capacidades cognitivas produciendo incluso un efecto beneficioso sobre las redes cerebrales que las sustentan. Destacamos algunos estudios que utilizan este tipo de intervenciones con programas de entrenamiento centrados principalmente en los procesos de atención ejecutiva (Rueda, Checa, & Cómbita, 2012; Rueda, Rothbart, McCandliss, Saccomanno, & Posner, 2005), memoria de trabajo (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Shah, 2011; Thorell, Lindqvist, Nutley, Bohlin, & Klingberg, 2009), control inhibitorio (Millner, Jaroszewski, Chamarthi, & Pizzagalli, 2012) y flexibilidad cognitiva (Korbach & Kray, 2009; Kray, Korbach, Haenig, & Freitag, 2012).

Con el propósito de comprender cómo el entrenamiento cognitivo influye en la plasticidad cerebral, algunos estudios han incorporado técnicas de neuroimagen. Rueda, Rothbart, McCandliss, Saccomanno y Posner (2005) trataron de estudiar mediante el uso de EEG la influencia que ejerce el entrenamiento sobre la eficiencia de la red de atención ejecutiva. Para ello trabajaron con una muestra de niños de 4 a 6 años en un programa de entrenamiento informatizado durante 5 sesiones. En este estudio, los participantes realizaban antes y después de un programa de entrenamiento cognitivo la tarea ANT mientras se registraba su activación cerebral con EEG. Los datos de activación cerebral muestran un efecto beneficioso del entrenamiento en la red ejecutiva en los niños del grupo experimental en comparación con los del grupo de control. Concretamente, los niños entrenados presentan un efecto de reducción de la latencia de

activación relacionada con estructuras frontales de la línea media. Además, con el entrenamiento se produce un cambio en los mapas topográficos, de modo que aparece una activación más temprana y más posterior, un patrón de activación más similar al mostrado por adultos al realizar la misma tarea (Figura 4). Estos resultados sugieren que el entrenamiento cognitivo modifica los mecanismos cerebrales de la resolución del conflicto en la dirección de un patrón más maduro. Además, el efecto beneficioso del entrenamiento de la atención también se transfiere a medidas no entrenadas, como la inteligencia fluida.

En otra investigación posterior con niños de 5 años, se optimizó el programa de entrenamiento y se incrementó el número de ejercicios y sesiones de entrenamiento. En esta ocasión, los resultados obtenidos replican los beneficios del entrenamiento tanto a nivel de activación cerebral como de inteligencia fluida. Los niños entrenados mostraron una activación más rápida y eficiente en los circuitos cerebrales implicados en la atención ejecutiva (Rueda et al., 2012). Además, en este estudio se realizó un seguimiento dos meses después de haber concluido la intervención y se observó que los niños entrenados seguían mostrando ventaja en el tiempo de activación cerebral así como mayores puntuaciones de inteligencia fluida en comparación con los niños no entrenados.

a) Condiciones de medición de la activación cerebral:



b) Mapa topográfico del momento en que se produce la activación cerebral asociada con atención ejecutiva :

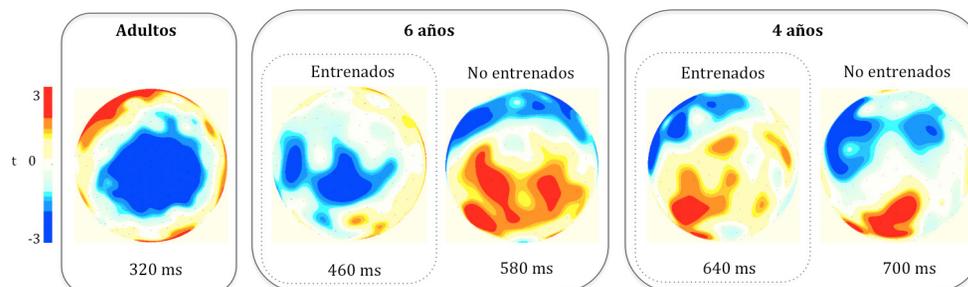


Figura 4. Representación de las condiciones experimentales de la tarea de flancos con la que se mide la atención ejecutiva y la realización de la tarea por una niña de 5 años de edad (a). Efecto del entrenamiento de la atención en la latencia de activación de estructuras frontales. El tiempo debajo de cada mapa topográfico indica el momento en que se observa una mayor amplitud de activación en canales frontales en la condición de mayor implicación de la atención ejecutiva. El dato muestra que la activación se produce más rápidamente en los grupos que han recibido entrenamiento (b). Los datos utilizados para elaborar la figura han sido extraídos del estudio de Rueda et al. (2005).

Con una técnica diferente, Jolles, Van Buchem, Rombouts y Crone (2012) estudiaron los efectos del entrenamiento en memoria de trabajo sobre el funcionamiento del cerebro. Para ello entrenaron a niños de 12 años y adultos de 22 años durante 6 semanas y examinaron los efectos utilizando resonancia magnética funcional (fMRI). Tanto los niños como los adultos mostraron un mejor rendimiento a nivel cognitivo, que se mantuvo al menos durante 6 meses después del entrenamiento. Además, los datos de neuroimagen anteriores al entrenamiento en niños mostraron una activación frontoparietal inmadura ante la tarea de manipulación de la información en memoria de trabajo. Sin embargo, tras el entrenamiento las diferencias de activación cerebral entre los niños y adultos se redujeron considerablemente.

En su conjunto, estos resultados indican que las habilidades cognitivas son mejorables a través de entrenamiento y que la práctica de ejercicios que ponen en marcha los procesos cognitivos que queremos mejorar pueden alterar el funcionamiento de las estructuras del cerebro subyacentes a estos procesos, haciéndolas más eficaces, en la dirección de la maduración.

Discusión y conclusiones

La atención y la capacidad de autorregulación son clave para el aprendizaje escolar. Optimizar y promover el adecuado desarrollo de la atención en los niños debe ser uno de los objetivos principales de los educadores y psicólogos educativos, ya que los problemas atencionales constituyen una de las principales causas del fracaso escolar. Para lograr este importante objetivo es primordial conocer los procesos cognitivos implicados en la atención y el modo en que esta capacidad se desarrolla a lo largo de la infancia.

Durante décadas, la Psicología Cognitiva ha proporcionado tareas experimentales con las que medir y estudiar los procesos cognitivos implicados en la atención y autorregulación. Aspectos de activación, selección y control se han asociado con la capacidad atencional desde los primeros modelos teóricos. Además, en las últimas décadas se ha producido un espectacular desarrollo tecnológico en el campo de la neurociencia que nos permite examinar el funcionamiento del cerebro en vivo y estudiar las bases cerebrales de las capacidades cognitivas. Sin duda, la atención está entre las capacidades cognitivas más estudiadas en el ámbito de la Neurociencia Cognitiva. Esto ha permitido determinar la neuroanatomía de las funciones de alerta, orientación y control ejecutivo asociadas con la atención. Conocer las bases cerebrales es importante ya que permite conectar distintos niveles de análisis de los fenómenos cognitivos, desde las diferencias individuales en el comportamiento atencional mostradas en el aula hasta los genes que pueden estar implicados en dichas diferencias, pasando por los procesos cognitivos involucrados y el conocimiento de las estructuras cerebrales que los sustentan. Todo este conocimiento está siendo de gran utilidad para diseñar programas de intervención que permitan entrenar la atención, mejorando tanto el comportamiento como el funcionamiento del cerebro.

En este artículo hemos expuesto la aproximación de la neurociencia cognitiva al estudio del desarrollo de la atención y su mejora a través de estrategias de intervención. Las nuevas tecnologías nos permiten examinar los efectos de la intervención directamente sobre la función del cerebro. En este sentido podemos decir que es posible *educar al cerebro* a través de la práctica con ejercicios de entrenamiento cognitivo. Futuras investigaciones serán necesarias para optimizar los programas de entrenamiento y utilizarlos para prevenir el desarrollo de patologías relacionadas con la atención, así como paliar sus efectos adversos en el aprendizaje y socialización de los menores.

El artículo original fue recibido el 20 de marzo de 2016

El artículo fue aceptado el 4 de abril de 2016

Referencias

- Abundis-Gutiérrez, A., Checa, P., Castellanos, C., & Rueda, M. R. (2014). Electrophysiological correlates of attention networks in childhood and early adulthood. *Neuropsychologia*, *57*, 78-92. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2014.02.013
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, *8*(2), 71-82. doi: 10.1076/chin.8.2.71.8724
- Berger, A., Tzur, G., & Posner, M. I. (2006). Infant brains detect arithmetic errors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *103*(33), 12649-12653. doi: 10.1073/pnas.0605350103
- Bernier, A., Carlson, S. M., & Whipple, N. (2010). From external regulation to self-regulation: Early parenting precursors of young children's executive functioning. *Child development*, *81*(1), 326-339. doi: 10.1111/j.1467-8624.2009.01397.x
- Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, *33*(3), 205-228. doi: 10.1080/87565640801982312
- Checa, P., Rodríguez-Bailón, R., & Rueda, M. R. (2008). Neurocognitive and temperamental systems of self-regulation and early adolescents' school competence. *Mind, Brain and Education*, *2*(4), 177-187. doi: 10.1111/j.1751-228X.2008.00052.x
- Clearfield, M. W., & Jedd, K. E. (2013). The effects of socio-economic status on infant attention. *Infant and Child Development*, *22*(1), 53-67. doi:10.1002/icd.1770
- Colombo, J., & Horowitz, F. (1987). Behavioral state as a lead variable in neonatal research. *Merrill-Palmer Quarterly-Journal of Developmental Psychology*, *33*(4), 423-437. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/23086402>
- Congdon, E., Constable, R. T., Lesch, K. P., & Canli, T. (2009). Influence of SLC6A3 and COMT variation on neural activation during response inhibition. *Biological Psychology*, *81*(3), 144-152. doi: 10.1016/j.biopsycho.2009.03.005
- Congdon, E., Lesch, K. P., & Canli, T. (2008). Analysis of DRD4 and DAT Polymorphisms and Behavioral Inhibition in Healthy Adults: Implications for Impulsivity. *Am J Med Genet B*, *147*, 27-32. doi: 10.1002/ajmg.b.30557
- Courage, M. L., Reynolds, G. D., & Richards, J. E. (2006). Infants' attention to patterned stimuli: Developmental change from 3 to 12 months of age. *Child Development*, *77*(3), 680-695. doi: 10.1111/j.1467-8624.2006.00897.x
- Danis, A., Pecheux, M. -G., Lefevre, C., Bourdais, C., & Serres-Ruel, J. (2008). A continuous performance task in preschool children: Relations between attention and performance. *European Journal of Developmental Psychology*, *5*(4), 401-418. doi: 10.1080/17405620600866800
- Derryberry, D., & Rothbart, M. K. (1997). Reactive and effortful processes in the organization of temperament. *Development and Psychopathology*, *9*, 633-652.
- Diamond, A. (1990). The development and neural bases of higher cognitive functions. Introduction. En A. Diamond (Ed.), *Annals of the New York Academy of Sciences*, *608* (pp. xiii-lvi). Nueva York: The New York Academy of Sciences. doi: 10.1111/j.1749-6632.1990.tb48888.x
- Diamond, A. (2006). The early development of executive functions. En E. Bialystok, & F. I. M. Craik (Eds.), *Lifespan cognition: Mechanisms of change* (pp. 70-95). Nueva York: Oxford University Press.
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, *64*, 135-168. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., Pagani, L., ...Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, *43*(6), 1428-1446. doi: 10.1037/0012-1649.43.6.1428.
- Duncan, G. J., Yeung, W. J., Brooks-Gunn, J., & Smith, J. R. (1998). How much does childhood poverty affect the life chances of children? *American Sociological Review*, *63*(3), 406-423. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/2657556>
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a non-search task. *Perception & Psychophysics*, *16*(1), 143-149. doi: 10.3758/BF03203267
- Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I., & Posner, M. I. (2005). The activation of attentional networks. *Neuroimage*, *26*(2), 471-479.

- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(3), 340-347. doi: 10.1162/089892902317361886
- Fan, J., Wu, Y., Fossella, J. A., & Posner, M. I. (2001). Assessing the heritability of attentional networks. *BMC neuroscience*, *2*(14), 1-7. doi: 10.1186/1471-2202-2-14
- Gerardi-Caulton, G. (2000). Sensitivity to spatial conflict and the development of self-regulation in children 24-36 months of age. *Developmental Science*, *3*(4), 397-404. doi: 10.1111/1467-7687.00134
- Greenwood, P. M., Parasuraman, R., & Espeseth, T. (2012). A cognitive phenotype for a polymorphism in the nicotinic receptor gene CHRNA4. *Neurosci Biobehav Rev*, *36*, 1331-1341. doi: 10.1016/j.neubiorev.2012.02.010
- Holmboe, K., Fearon, R. M. P., Csibra, G., Tucker, L. A., & Johnson, M. H. (2008). Freeze-Frame: A new infant inhibition task and its relation to frontal cortex tasks during infancy and early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, *100*(2), 89-114. doi: 10.1016/j.jecp.2007.09.004
- Hood, B. M. (1995). Shifts of visual attention in the infant: A neuroscientific approach. En L. L. C. Rovee-Collier (Ed.), *Advances in infancy research* (Vol. 9, pp. 163-216). Norwood, NJ: Ablex.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Shah, P. (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(25), 10081-10086. doi: 10.1073/pnas.1103228108
- Jolles, D. D., Van Buchem, M. A., Rombouts, S. A. R. B., & Crone, E. A. (2012). Practice effects in the developing brain: A pilot study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *2*(Suppl. 1), S180-S191. doi: 10.1016/j.dcn.2011.09.001
- Johnson, M. H. (1994). Visual attention and the control of eye movements in early infancy. *Attention and Performance Vol. XV: Conscious and Unconscious Processing*, 291-310.
- Johnson, M. H., Posner, M., & Rothbart, M. (1991). Components of visual orienting in early infancy. Contingency learning, anticipatory looking, and disengaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *3*(4), 335-344. doi: 10.1162/jocn.1991.3.4.335
- Johnson, M. H., & Tucker, L. A. (1996). The development and temporal dynamics of spatial orienting in infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, *63*(1), 171-188. doi: 10.1006/jecp.1996.0046
- Karbach, J., & Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Developmental Science*, *12*(6), 978-990. doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00846.x
- Lawson, G. M., Duda, J. T., Avants, B. B., Wu, J., & Farah, M. J. (2013). Associations between children's socioeconomic status and prefrontal cortical thickness. *Developmental Science*, *16*(5), 641-652. doi: 10.1111/desc.12096
- Lin, C. C. H., Hsiao, C. K., & Chen, W. J. (1999). Development of sustained attention assessed using the continuous performance test among children 6-15 years of age. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *27*(5), 403-412.
- Lipina, S. J., Martelli, M. I., Vuelta, B., & Colombo, J. A. (2005). Performance on the a-not-b task of Argentinean infants from unsatisfied and satisfied basic needs homes. *Revista Interamericana de Psicología*, *39*(1), 49-60.
- Marrocco, R. T., & Davidson, M. C. (1998). The neurochemistry of attention. En R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (pp. 35-50). Cambridge, MA: MIT Press.
- Mashburn, A. J., & Pianta, R. C. (2006). Social relationships and school readiness. *Early Education and Development*, *17*(1), 151-176. doi: 10.1207/s15566935eed1701_7
- Mezzacappa, E. (2004). Alerting, orienting, and executive attention: Developmental properties and sociodemographic correlates in an epidemiological sample of young, urban children. *Child Development*, *75*(5), 1373-1386. doi: 10.1111/j.1467-8624.2004.00746.x
- Millner, A. J., Jaroszewski, A. C., Chamarthi, H., & Pizzagalli, D. A. (2012). Behavioral and electrophysiological correlates of training-induced cognitive control improvements. *Neuroimage*, *63*(2), 742-753. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.07.032
- Miyake A., Friedman N. P., Emerson M. J., Witzki A. H., Howerter A., & Wager T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex «frontal lobe» tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49-100. doi: 10.1006/cogp.1999.0734
- Monette, S., Bigras, M., & Guay, M. -C. (2011). The role of the executive functions in school achievement at the end of Grade 1. *Journal of Experimental Child Psychology*, *109*(2), 158-73. doi: 10.1016/j.jecp.2011.01.008

- Mueller, E. M., Makeig, S., Stemmler, G., Hennig, J., & Wacker, J. (2011). Dopamine effects on human error processing depend on catechol-O-methyltransferase VAL158MET genotype. *The Journal of Neuroscience*, 31(44), 15818-15825. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2103-11.2011
- Noble, K. G., McCandliss, B. D., & Farah, M. J. (2007). Socioeconomic gradients predict individual differences in neurocognitive abilities. *Developmental Science*, 10(4), 464-480. doi: 10.1111/j.1467-7687.2007.00600.x
- Posner, M. I., Rothbart, M. K., & Sheese, B. E. (2007). Attention genes. *Developmental Science*, 10, 24-29. doi: 10.1111/j.1467-7687.2007.00559.x
- Pozuelos, J. P., Paz-Alonso, P. M., Castillo, A., Fuentes, L. J., & Rueda, M. R. (2014). Development of attention networks and their interactions in childhood. *Developmental psychology*, 50(10), 2405-2415. doi: 10.1037/a0037469
- Rothbart M. K. (2011). *Becoming who we are*. Nueva York: Guilford.
- Rothbart, M. K., & Derryberry, D. (1981). Development of individual differences in temperament. En M. E. Lamb, & A. L. Brown (Eds.), *Advances in developmental psychology* (Vol. 1, pp. 37-86). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rueda, M. R., Checa, P., & Combita, L. M. (2012). Enhanced efficiency of the executive attention network after training in preschool children: Immediate and after two months effects. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2(1), 192-204. doi: 10.1016/j.dcn.2011.09.004
- Rueda, M. R., Checa, P., & Rothbart, M. K. (2010). Contributions of attentional control to socioemotional and academic development. *Early Education & Development*, 21(5), 744-764. doi: 10.1080/10409289.2010.510055
- Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B. D., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Lercari, L. P., & Posner, M. I. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychology*, 42(8), 1029-1040. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.012
- Rueda, M. R., Pozuelos, J. P., & Cómbita, L. M. (2015). Cognitive neuroscience of attention: From brain mechanisms to individual differences in efficiency. *AIMS Neuroscience*, 2(4), 183-202. doi: 10.3934/Neuroscience.2015.4.183
- Rueda, M. R., Rothbart, M. K., McCandliss, B. D., Saccomanno, L., & Posner, M. I. (2005). Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 102, 14931-14936. doi: 10.1073/pnas.0506897102
- Rueda, M. R., & Posner, M. I. (2013). Development of attention networks. En P. D. Zelazo (Ed.), *The Oxford Handbook of Developmental Psychology, Vol. 1* (Chapter 24, pp. 683-705). Reino Unido: Oxford University Press. doi: 10.1093/oxfordhb/9780199958450.013.0024
- Ruff, H. A., & Lawson, K. R. (1990). Development of sustained, focused attention in young children during free play. *Developmental Psychology*, 26(1), 85. doi: 10.1037//0012-1649.26.1.85
- Ruff, H. A., & Rothbart, M. K. (1996). *Attention in early development: Themes and variations*. Reino Unido: Oxford University Press.
- Santesso, D. L., Segalowitz, S. J., & Schmidt, L. A. (2005). ERP correlates of error monitoring in 10-year-olds are related to socialization. *Biological Psychology*, 70(2), 79-87. doi: 10.1016/j.biopsycho.2004.12.004
- Schul, R., Townsend, J., & Stiles, J. (2003). The development of attentional orienting during the school-age years. *Developmental Science*, 6(3), 262-272. doi: 10.1111/1467-7687.00282
- Stevens, C., Lauinger, B., & Neville, H. (2009). Differences in the neural mechanisms of selective attention in children from different socioeconomic backgrounds: an event-related brain potential study. *Developmental Science*, 12(4), 634-646. doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00807.x
- Thorell, L. B., Lindqvist, S., Nutley, S. B., Bohlin, G., & Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science*, 12(1), 106-113. doi: 10.1111/j.1467-7687.2008.00745.x
- Wainwright, A., & Bryson, S. E. (2005). The development of endogenous orienting: Control over the scope of attention and lateral asymmetries. *Developmental Neuropsychology*, 27(2), 237-255. doi: 10.1207/s15326942dn2702_3
- Yeniad, N., Malda, M., Mesman, J., van IJzendoorn, M. H., & Pieper, S. (2013). Shifting ability predicts math and reading performance in children: A meta-analytical study. *Learning and Individual Differences*, 23, 1-9. doi: 10.1016/j.lindif.2012.10.004