



## **Desarrollo Neuropsicológico de las Habilidades Visoespaciales y Visoconstruccionales**

**Mónica Rosselli**

Departamento de Psicología, Florida Atlantic University. Davie, Florida, EE.UU.

Correspondencia: Mónica Rosselli, Departamento de Psicología, Florida Atlantic University, 3200 College Avenue, Davie, FL 33314. Correo electrónico: [mrossell@fau.edu](mailto:mrossell@fau.edu)

Agradecimiento: Mis más sinceros agradecimientos a Deven Christopher por la elaboración de todas las figuras de este artículo.

### **Resumen**

El desarrollo infantil visoespacial y visoconstruccional es el resultado de la integración progresiva de habilidades visuales, motoras y espaciales; la unificación en el niño de estas habilidades culmina en la capacidad para crear mapas mentales y en la habilidad visomotora para integrar elementos dentro de un todo organizado. En este artículo se presenta el proceso de desarrollo de estas habilidades describiendo los cambios que se observan desde el nacimiento hasta la edad escolar a nivel visual, motor y espacial. Se enfatiza la importancia de las vías visuales dorsales (occipito-parietales) y ventrales (occipito-temporales) en este proceso de desarrollo. Además se relaciona la intervención del lóbulo frontal (control ejecutivo) y de las estructuras mediales del lóbulo temporal (memoria) en el proceso de adquisición de la cognición espacial. Finalmente se hace alusión a las alteraciones de las habilidades espaciales más comunes en la edad infantil.

*Palabras clave:* Cognición espacial infantil; orientación espacial infantil; trastorno de desorientación topográfica; desarrollo vía visual dorsal; desarrollo viso espacial; desarrollo viso construccional; vulnerabilidad de la vía visual dorsal.

### **Neuropsychological Development of Visuospatial and Visuoconstructive Abilities**

#### **Summary**

The development of visuospatial and visuoconstructive abilities is the result of the integration of visual, motor and spatial skills; the unification of these skills ends up in the ability to create mental maps and in the visuo motor capacity to integrate elements within a whole. This article presents the

developmental process of acquisition of these abilities describing the visual, motor and spatial changes observed in the child from birth to the school years. The importance of the visual dorsal (occipito parietal) and visual ventral streams (occipito temporal) is emphasized. Also, the intervention of the frontal lobe (executive control) and the medial temporal lobe (memory) in the spatial cognition acquisition process is highlighted. Finally, the article alludes to the most common spatial disorders in childhood.

**Keywords:** Children spatial cognition; children spatial orientation; developmental topographic disorientation; visual dorsal stream development; visospacial development; viso constructional development; visual dorsal stream vulnerability.

## Introducción

Para comprender el desarrollo de las habilidades visuoespaciales y visoconstruccionales es necesario comenzar por recordar que el sistema visual tiene dos grandes subsistemas corticales; uno que se encarga de identificar lo que vemos, denominado el sistema del “qué” y otro encargado de ubicar espacialmente lo visto denominado el sistema del “dónde”. A pesar de que ambos sistemas se originan en el lóbulo occipital, tienen una terminación diferente en la corteza cerebral. Las vías del primer sistema, el que identifica lo que vemos, se dirigen del lóbulo occipital al lóbulo temporal formando el sistema visual ventral mientras que las vías del segundo sistema que nos proporciona información espacial relacionada con la localización de lo que vemos se dirigen del lóbulo occipital

al lóbulo parietal formando la vía visual dorsal (Goodale & Milner, 1992; Ungerleider & Mishkin, 1982). La Figura 1 representa estos dos sistemas corticales visuales.

Evidencia proveniente de la neuropsicología, la electrofisiología y la neuroimagen apoya la independencia funcional de estos dos sub-sistemas visuales. El sistema ventral proporciona información detallada de las características de los objetos tales como su tamaño y forma; es decir, utiliza para reconocer el objeto un sistema de métrica comparativa de un objeto con otro. El sistema dorsal, por otro lado, transforma la información visual en coordenadas para lograr conductas motoras coordinadas con la ubicación de los objetos. Este sería un sistema visual sensible a la percepción del movimiento de los objetos, y que a su vez tendría cierto control sobre los actos que un individuo realiza cuando sus movimientos involucran objetos también móviles. En otras palabras, el sistema dorsal sería un puente entre la percepción del movimiento y el sistema de acción del individuo que está percibiendo ese movimiento.

El análisis de las alteraciones visuales que sufren los pacientes con lesiones cerebrales proporciona apoyo a este modelo del sistema visual; es así como lesiones occipito-parietales producen trastornos espaciales tales como simultagnosia, ataxia óptica, apraxia visual, negligencia espacial unilateral y akinetopsia. Mientras que lesiones occipito-temporales ocasionan alteraciones en el reconocimiento de objetos y rostros generando agnosias visuales para objetos y prosopagnosia respectivamente (para una revisión más detallada de este tema, ver los capítulos sobre *Agnosias Visuales y Prosopagnosia* en este volumen).

A pesar de la disociación funcional que se

ha encontrado entre los dos sistemas visuales dorsal y ventral, recientemente se ha sugerido que estos en verdad no se pueden separar tan tajantemente; por el contrario, trabajarían conjuntamente en el proceso perceptual apoyándose mutuamente (McIntosh & Schenk, 2009). Se ha propuesto además que los dos sistemas

visuales podrían estar influidos por otros sistemas cerebrales tales como los sistemas del control atencional y el control ejecutivo. Es así como la vía visual dorsal tendría una función semiautónoma que operaría bajo el control de las funciones ejecutivas las cuales recibirían a su vez información del procesamiento visual ventral.



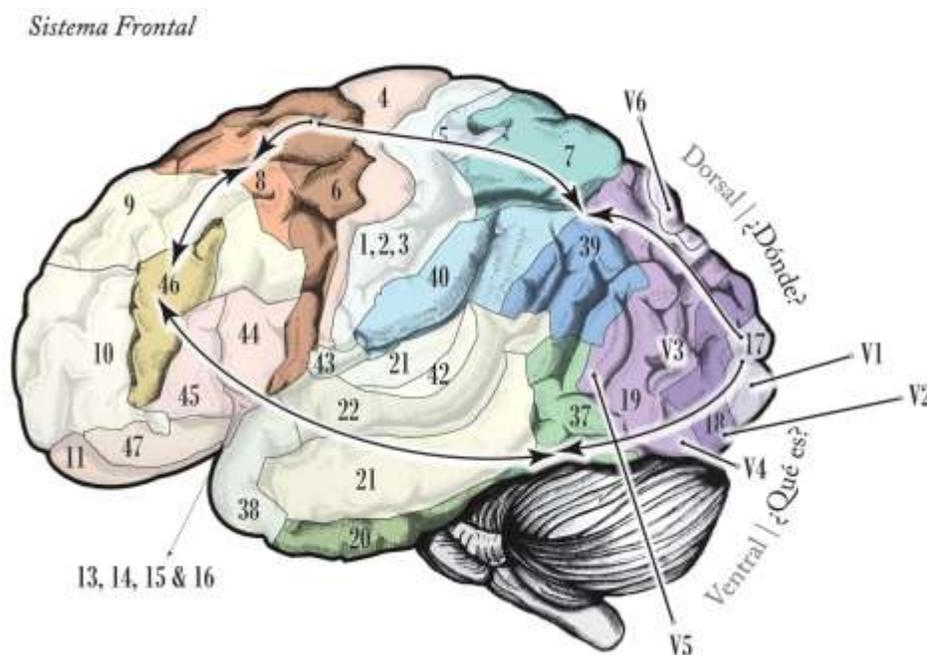
Figura 1. El sistema visual ventral occipito-temporal nos informa lo “QUÉ” vemos y el sistema dorsal occipito-parietal nos indica en “DÓNDE” está lo que vemos.

Adicionalmente, se ha propuesto que desde el punto de vista anatómico la corteza visual incluye la corteza primaria (también conocida como corteza estriada o V1), que corresponde al área de Brodmann (AB) 17, y la corteza alrededor del área primaria llamada corteza visual extra estriada; esta última incluye las llamadas áreas V2, V3, V4, V5 y V6 (localizadas en las AB18 y AB19). La corteza visual V4 sería funcional dentro del sistema de la vía visual ventral mientras que las áreas V5 y V6 participarían en el sistema de la vía visual dorsal. Las

áreas V1, V2 y V3 sería parte de las dos vías visuales (Figura 2). En otras palabras se propone que de la corteza V1 partirían las dos vías (dorsal y ventral) ambas dirigidas hacia V2 y V3 pero a partir de esta última los axones correspondientes a la vía dorsal harían sinapsis con neuronas que se encuentran en las áreas V5 y V6 para terminar en el lóbulo parietal; la otra vía, la ventral continúa hacia V4 para terminar en el lóbulo temporal. Es importante anotar que la diferenciación de la corteza visual de asociación V2, V3, V4, V5 y V6 es

originalmente dado en el cerebro de monos y ha sido difícil buscar su equivalencia en humanos. En el diagrama de la Figura 2 se muestra la ubicación de estas áreas visuales contrastándola con la nomenclatura

de las áreas de Brodmann (AB). Aunque solamente se muestran en el hemisferio izquierdo, se ha supuesto que tienen la misma ubicación en el hemisferio derecho.



*Figura 2.* Los dos sistemas visuales VENTRAL Y DORSAL se encuentran bajo el control ejecutivo de los lóbulos frontales. El área visual V1 correspondería a la corteza estriada (AB 17) y las áreas visuales V2, V3, V4, V5 y V6 corresponderían a la corteza visual de asociación en donde V4 pertenece al sistema visual ventral y V5 y V6 al sistema visual dorsal. V2 y V3 participarían en los dos sistemas.

El desarrollo de las habilidades perceptuales visoespaciales y visomotoras en el niño que se describe a continuación apoya la interacción de estos dos sistemas visuales durante el periodo de adquisición de las habilidades viso-espaciales y recalca la importancia que ejerce el lóbulo frontal en su desarrollo.

**• Desarrollo visuoespacial/visomotor**

La navegación espacial en el ambiente que nos rodea es una función básica de la especie humana. Numerosos estudios han demostrado que esta habilidad está

presente en el niño a una edad temprana (Learmonth, Newcombe, & Huttenlocher, 2001; Wang & Spelke, 2002), y gradualmente se va complejizando (Acredolo, 1977; Overman, Pate, Moore, & Peuster, 1996) hasta la adultez.

La habilidad para navegar en un espacio tiene sus bases en la interacción entre el sistema visual y el sistema motor. El niño al relacionarse con el ambiente durante su primer año de vida percibe un objeto en el espacio visual que le permite la opción de actuar sobre él bien sea siguiéndolo con la

mirada, alcanzándolo y/o agarrándolo con la mano, desarrollando así la percepción de espacio visual. El niño comienza a entender que los objetos se perciben a diferentes distancias con relación a él mismo (espacio egocéntrico) o con relación a otros objetos (espacio allocéntrico). Esta respuesta del sistema motor a un reconocimiento visual un tanto refleja al comienzo (i.e., todos los objetos generan la misma respuesta motora) se vuelve intencional (solo trata de agarrar los objetos pequeños) logrando el niño una mejor atención visual (selección de información visual específica con inhibición de la inespecífica) y cada vez más selectiva.

Uno de los primeros comportamientos en el niño que denotan el control visual para la acción es el intento del niño por alcanzar un objeto; esto sucede en los primeros meses de vida y requiere, en primer lugar, de la identificación de un objeto entre muchos (sugiriendo actividad de la vía visual ventral) seguido de una acción de búsqueda visual, y finalizado por el alcance manual del objeto y su subsecuente agarre. El sistema de acción viso-motriz se inicia entonces con el control de los movimientos oculares: primero, el control sacádico de seguimiento y búsqueda de los estímulos que se mueven en el espacio alrededor del niño. Posteriormente, el alcance del objeto con la mano implica un análisis de distancias probablemente influido por el movimiento del objeto y de la mano misma del niño. Esta acción del niño va a estar afectada por los cambios de atención visual que se generan con la activación combinada del movimiento ocular y el movimiento de la cabeza del niño.

Los movimientos oculares juegan entonces un papel central en el desarrollo del sistema visoespacial. Los movimientos oculares sacádicos son pasivos en el recién nacido, es decir funcionan de manera automática y

en lugar de ser controlados voluntariamente por el niño están controlados por los estímulos móviles del medio ambiente. Es decir, si hay objetos que se mueven alrededor del niño los sigue con la mirada. Aparentemente desde que nace, el niño tiene un sistema de ubicación visual de los estímulos circundantes probablemente controlado por estructuras subcorticales. Los cambios abruptos en la posición de un estímulo generan por un lado la fijación de la mirada en el estímulo en movimiento y por otro los consecuentes movimientos oculares abruptos que siguen al objeto y que se acompañan con movimientos de la cabeza. Es probable que este primer sistema subcortical de ubicación de los estímulos con base en la detección de su movimiento o de su cambio de posición rápida en el espacio este controlado por las estructuras del *tectum* del cerebro medio, específicamente los colículos superiores (parte de los tubérculos cuadrigéminos) que tienen conexión con la retina.

Progresivamente, y en paralelo con la maduración de la sustancia blanca y de la sustancia gris de los lóbulos occipitales, parietales y frontales, los movimientos oculares son cada vez más armónicos (suaves) logrando a los tres meses cierto control voluntario de la mirada y el seguimiento de un objeto de manera continua. Es decir, el niño a esta edad parece dirigir la mirada hacia donde quiere ver y su mirada no solamente está controlada por lo que el medio externo "quiere que vea". Paulatinamente el control voluntario de la mirada es mayor.

Las Figuras 3 y 4 muestran las estructuras cerebrales corticales y subcorticales en los movimientos sacádicos y en el seguimiento ocular respectivamente, habilidades motoras básicas sobre las que se

fundamenta el desarrollo visoespacial (Atkinson & Nardini, 2008). Desde nervio óptico parten dos tipos de conexiones una que se dirige al techo del cerebro medio específicamente a los colículos superiores y de ahí se proyecta al núcleo pulvinar del tálamo de donde salen fibras hacia la corteza visual de asociación específicamente al área V5 que se encuentra en el AB 19. La otra vía concretamente la radiación óptica se dirige directamente a la corteza visual primaria (AB 17 también conocida como V1) pasando por el núcleo geniculado lateral del tálamo. Del área visual primaria la información se dirige a las áreas de asociación AB 18 (V2) y AB 19 (V3, y V5). La información de V5 se

conectaría con las regiones mediales del lóbulo temporal y esta se vincularía con el campo visual frontal (AB 8) que a su vez estimularía los ganglios basales, la protuberancia y el cerebelo. Por otro lado, la estimulación del área de asociación V6 (parieto-occipital), estimularía el lóbulo parietal inferior conectándose nuevamente con el área frontal BA 8. Simultáneamente se activa el sistema visual ventral que como el dorsal parte del área V1, se dirige también a las áreas V2 y V3, pero en lugar de continuar en las áreas V5 y V6 se dirige al área V4 y de ahí a la corteza lateral temporo-occipital (temporal inferior y medial) (Atkinson & Nardini).

MOVIMIENTOS SACÁDICOS

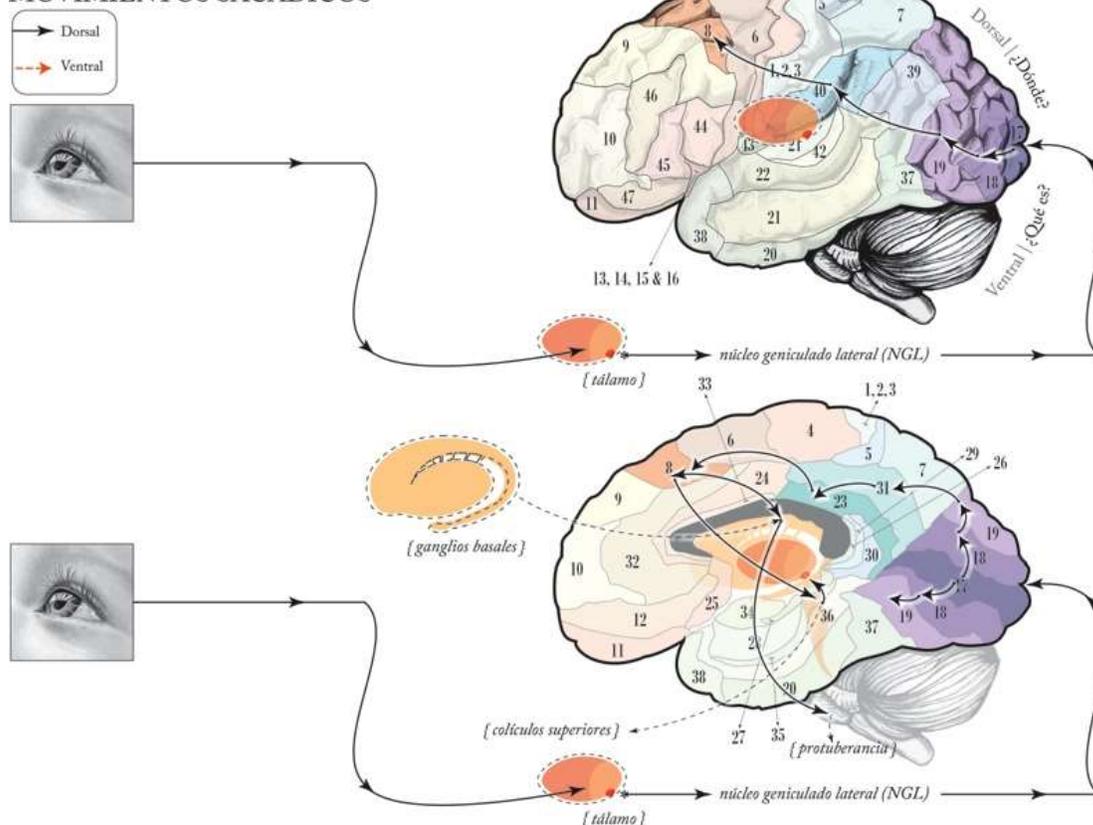


Figura 3. Estructuras cerebrales involucradas en los movimientos sacádicos del niño. Los números corresponden a las áreas de Broadmann (AB).

SEGUIMIENTO OCULAR

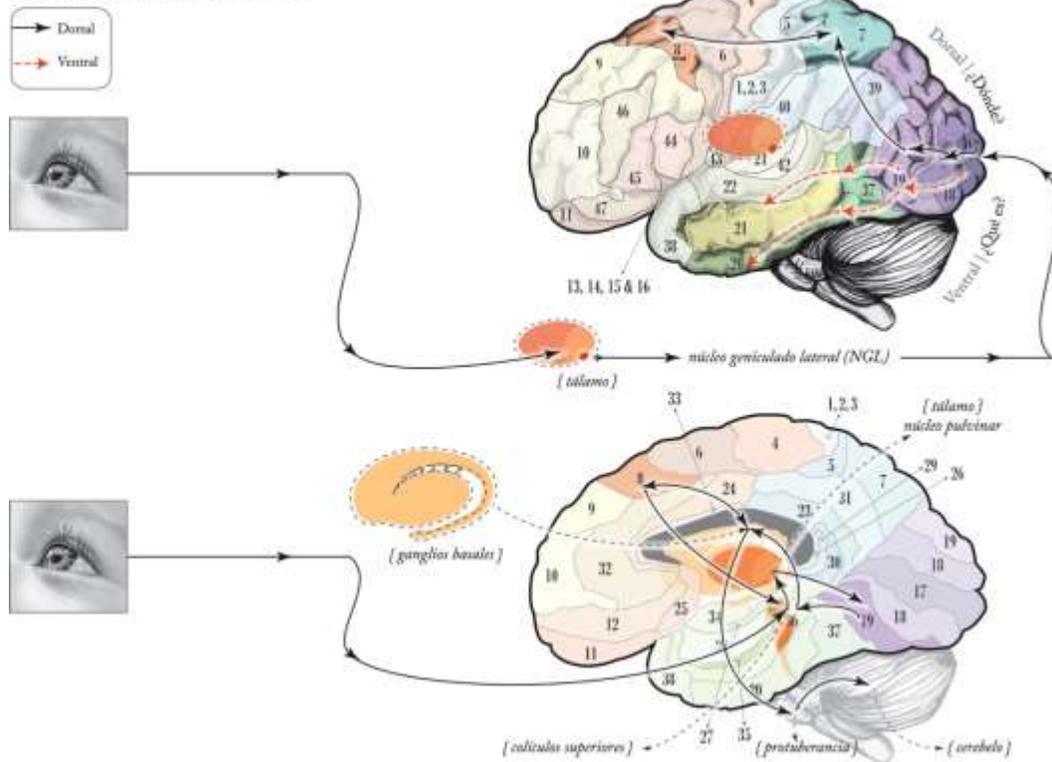


Figura 4. Estructuras cerebrales involucradas en la conducta infantil de seguimiento ocular. La parte superior de la figura muestra las áreas corticales desde una vista lateral y en la parte inferior se muestra un corte medial con las estructuras subcorticales involucradas. Los números corresponden a las áreas de Brodmann (AB).

El desarrollo del control voluntario de la mirada es paralelo con el desarrollo del control intencional del movimiento de las extremidades superiores. A los 3 meses de vida por ejemplo el niño dirige la mano hacia objetos específicos que le llaman su atención con el fin de agarrarlos. De los 4 a los 6 meses logra el agarre de los objetos de manera exitosa. De los 6 a los 8 meses se observa un acto casi compulsivo por agarrar los objetos que estén cerca de su alcance como si hubiera urgencia en practicar esta nueva acción fundamental para el progreso visomotor ulterior. A los 8 meses desarrolla prensión manual y es capaz de tomar los objetos utilizando independientemente el pulgar y el índice. Más aun, a esta edad

presenta preferencia por objetos pequeños del tamaño correcto para el agarre exitoso con su mano pequeña sugiriendo conectividad entre el sistema visual ventral que reconoce los objetos y el dorsal que los percibe en la distancia. Las Figuras 5 y 6 muestran las estructuras cerebrales que estarían implicadas en las conductas de alcance de un objeto y su subsecuente agarre. Además de las áreas cerebrales involucradas en los movimientos sacádicos y de seguimiento ocular ya mencionadas participarían la región premotora (AB 6) que se conectaría con el área motora primaria (AB 4) y en el lóbulo parietal las regiones mediales laterales del lóbulo parietal y las regiones mediales y ventrales

intraparietales, correspondientes con las AB 7, AB 40 y AB 39.

Con el desarrollo de una mejor postura y de las habilidades visomotoras, el niño de 6 meses ya es capaz de explorar los objetos que se colocan en una mano y transferirlos a la otra. Este movimiento de transferencia es el inicio de los movimientos coordinados bimanuales que a los 18 meses van a demostrar una apropiada organización espacial y precisión motora. Además, ya desde los 12 meses se observa el uso

preferente de una sola mano con la otra ayudándola, marcando el inicio del desarrollo de una preferencia manual correlativa con el desarrollo del control motor por un solo hemisferio cerebral que usualmente es el hemisferio izquierdo. Igualmente esta asimetría funcional hemisférica se asocia con un mayor crecimiento del cuerpo caloso; mejoría en tareas bimanuales se ha asociado con la maduración del cuerpo caloso (Muetzel et al., 2008).

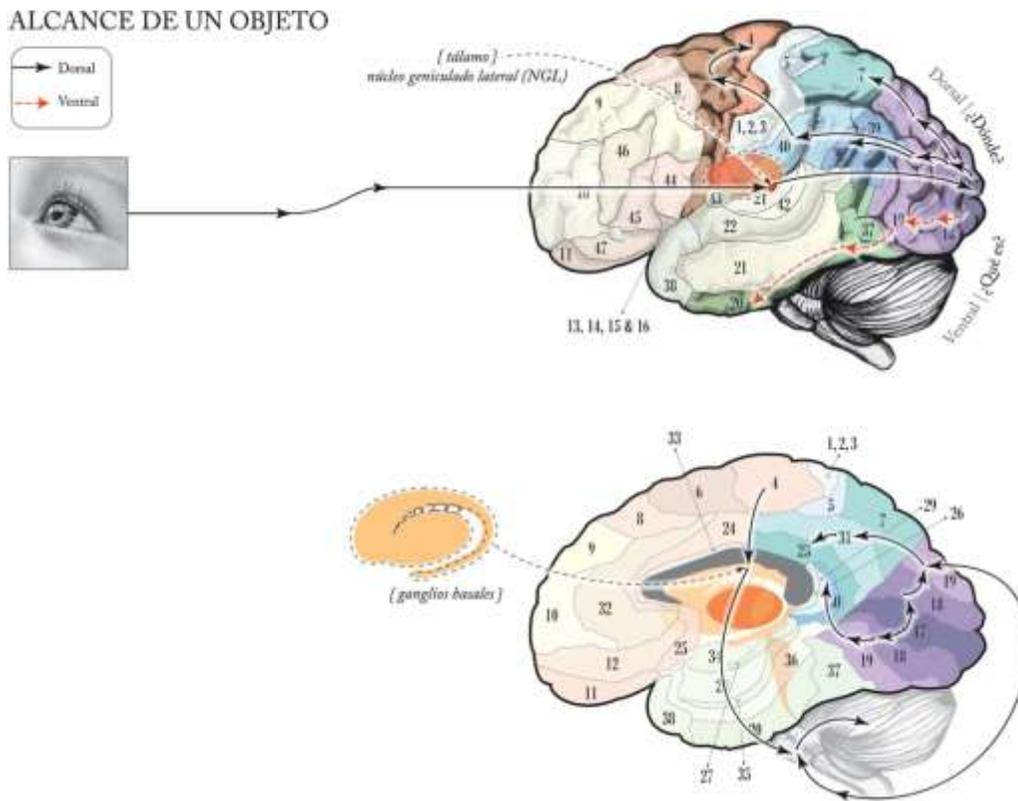


Figura 5. Estructuras cerebrales involucradas en la conducta de alcance de un objeto. Los números corresponden a las áreas de Brodmann (AB).

AGARRE DE UN OBJETO

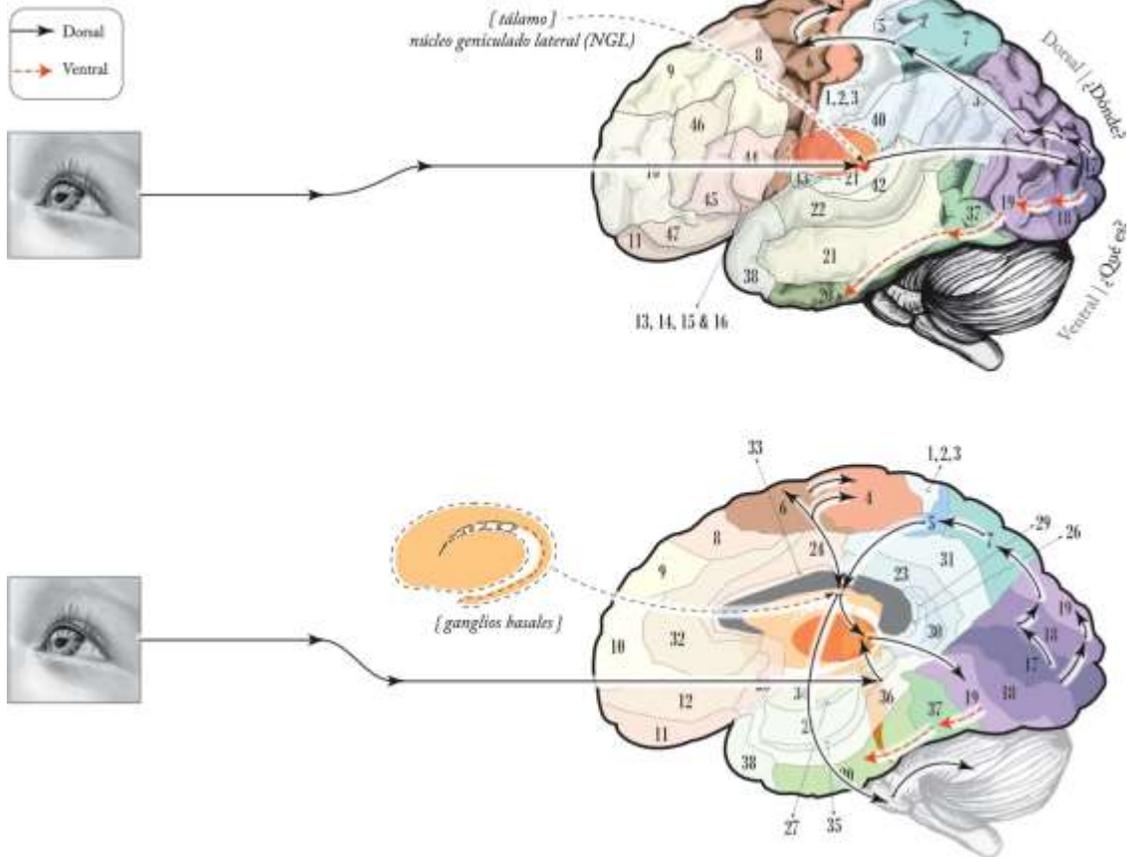


Figura 6. Estructuras cerebrales involucradas en la conducta de agarre de un objeto. Los números corresponden a las áreas de Brodmann (AB)

El desarrollo progresivo de la motricidad fina desigual en la mano derecha e izquierda marca la asimetría cerebral motora. A partir del primer año el niño es progresivamente más diestro para realizar actos motores con una sola mano. Hacia los tres años se observa muy claramente esta asimetría manual para tareas constructivas y gráficas. Es interesante observar que estas habilidades visoconstructivas demoran en adquirirse en contraste con la velocidad de adquisición de las habilidades verbales; es así por ejemplo mientras que un niño

entre los 3 y 4 años tiene un vocabulario de unas 1.500 palabras en promedio y puede formar estructuras gramaticales relativamente complejas, su uso del lápiz para realizar dibujos es muy limitado y su capacidad para dibujar por ejemplo una casa es muy pobre. Esta habilidad mejora sin embargo considerablemente entre los 5 y los 6 años como los muestran Stile, Sabbadini, Capirci y Volterra (2000) en un estudio longitudinal de las habilidades graficas de niños normales (véase Figura 7).

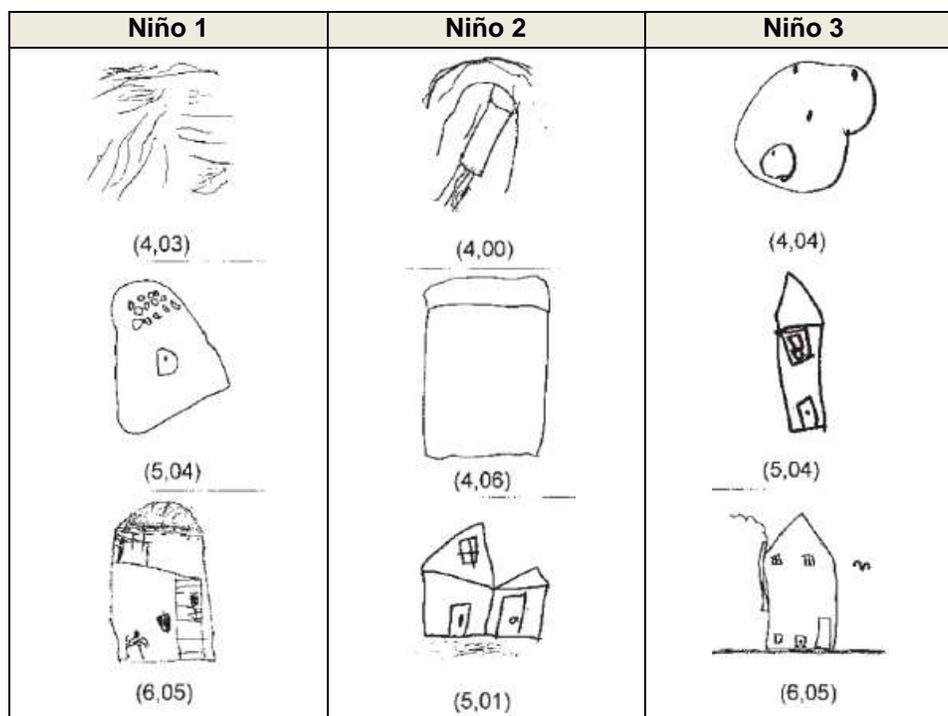


Figura 7. Dibujo de una casa realizado por tres niños con un desarrollo típico a tres edades diferentes; se señala en paréntesis la edad en años y meses (Stile et al., 2000).

Para un niño de temprana edad los dibujos son difíciles de interpretar y aún la copia de diseños geométricos es inexacta (Stiles et al., 2000). Usualmente se ha dicho que los niños antes de los 4 o 5 años no analizan correctamente información espacial a pesar desde que el primer año de vida existe un rudimento de análisis espacial. Entendiendo como análisis espacial la capacidad para comprender las partes de un patrón visual y organizarlas dentro de un todo. Para copiar una figura o para realizar un dibujo que represente algo como es una casa, el niño tiene que ser capaz de hacer un análisis espacial que implicaría comprender las partes del diseño o de la figura a dibujar y entender como esas partes se relacionan entre sí. El niño inicia el análisis espacial comprendiendo primero “el todo” (la figura) sin entender que está hecho de partes y

progresivamente a medida que su cerebro madura va analizando los elementos independiente para lograr una precisa configuración global; este análisis espacial es exitoso entre los 6 y 7 años de edad. Es decir el desarrollo de las habilidades construcciones se asocia entonces con la capacidad del niño de moverse progresivamente de una estrategia holista a una analítica en la que las partes son entendidas como constituyentes del todo. Sin embargo, existe polémica entre los autores, ya que algunos sostienen que los niños más pequeños procesan la información visual inicialmente por pedazos y es solamente más tarde cuando perciben la configuración global. La forma en que se procesa la información visoespacial afecta la destreza con que se llevan a cabo las tareas visoconstruccionales (Ardila &

Rosselli, 2007). Un niño que al copiar una figura como la figura compleja de Rey-Osterrieth lo hace por pedazos va a tener un desempeño muy diferente al del niño que inicia la copia de la figura después de haber analizado su configuración global. Es por eso que para algunos autores la apraxia construccional es considerada una apraxia agnoscica (Lange, 1936).

El paso de un procesamiento de información global (holístico) a uno focal (por partes) y la mayor capacidad en habilidades construccionales se ha correlacionado con una mayor lateralización del funcionamiento espacial en el hemisferio derecho. Inicialmente los dos hemisferios cerebrales

participarían de manera equivalente en este tipo de tareas espaciales pero en la medida en que la estrategia espacial mejora, la función espacial se lateraliza progresivamente en el hemisferio derecho.

Desde el punto de vista cerebral este tipo de tareas construccionales activarían los dos sistemas visuales dorsal y ventral, sin embargo, dado el alto componente espacial implicado en estas tareas, la participación del sistema dorsal particularmente del hemisferio derecho es mayor (Figura 8). De ahí que las lesiones parietales derechas son las que con más frecuencia originan una apraxia construccional.

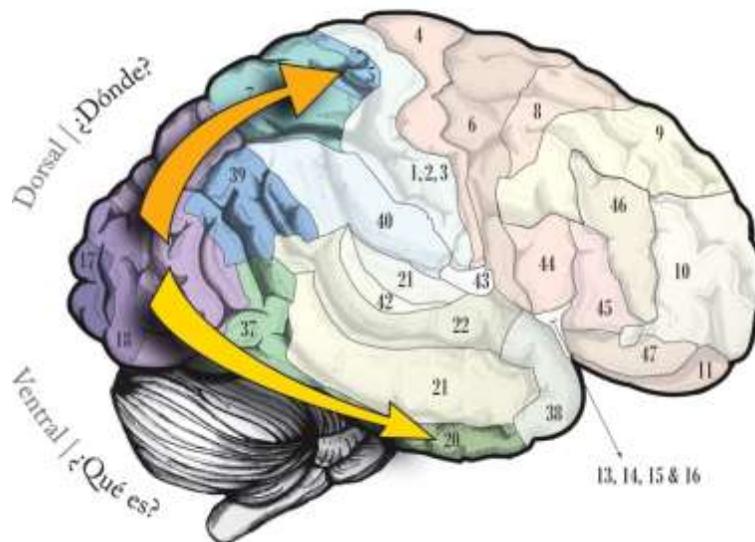


Figura 8. Sistemas visuales DORSAL y VENTRAL en el hemisferio derecho.

Otra manera de evaluar las habilidades construccionales es mediante tareas con bloques. Antes de los 12 meses los niños no se involucran en tareas de organización de bloques. Hacer torres con cubos se observa después, entre los 12 y los 18 meses. Y no es sino hasta los 3 o 4 años que el niño es

capaz de construir figuras verticales u horizontales utilizándolos (Stiles-Davis, 1988). La apraxia construccional observada en casos de lesiones parietales derechas se caracteriza precisamente por una incapacidad para realizar tareas con bloques o copiar figuras geométricas.

Además de las habilidades motoras finas requeridas en tareas constructivas las habilidades motoras más complejas, por ejemplo, sentarse, erguirse, caminar, se desarrollan progresivamente en forma paralela a la mielinización cerebral. También la producción del lenguaje obedece, al menos en parte, a una mayor complejidad de las estructuras corticales motoras.

Es importante destacar que un adecuado desarrollo motor implica la maduración de diversos circuitos cerebrales más allá de los motrices. Para ilustrar lo anterior consideremos los siguientes ejemplos: para asir un objeto de manera precisa es necesario que el niño determine el tamaño del objeto y su distancia; o bien, la adecuada locomoción del niño no sólo depende de su equilibrio sino también de su capacidad para determinar la distancia de los objetos para no tropezarse con ellos; requiere de la información visual para planear y ejecutar los actos motores. Para lograr el manejo de esta doble información se requiere de la maduración paralela del sistema motor (regiones corticales relacionadas con los movimientos de ojos, de la cabeza y de las extremidades) y del sistema visoespacial en particular de la vía visual dorsal occipitoparietal (Atkinson & Nardini, 2008). Aspectos adicionales visoespaciales como serían la atención visual y la memoria espacial motora puede también intervenir en la planeación motriz y deben madurar simultáneamente.

» *Desarrollo de la vía visual dorsal*

El punto de partida del desarrollo de la vía visual dorsal en el bebé está en la percepción del movimiento. Aparentemente en un inicio la corteza visual primaria (área

V1) procesa un movimiento espacialmente restringido (denominado movimiento local) que progresivamente se amplía volviéndose más global; el procesamiento local del movimiento se define como la sensibilidad a cambios de dirección en una región restringida de la imagen como sería por ejemplo en un segmento del contorno del objeto. El procesamiento global del movimiento por otro lado permite representar el movimiento en áreas más amplias del objeto y aun de otras superficies. Este cambio en el procesamiento del movimiento de local a global se asocia con la mayor participación de la corteza visual de asociación (V5) e implica mayor conectividad entre el área primaria V1 y las áreas de asociación que se ha registrado entre los 3 y los 4 meses de edad. Durante los 6 primeros meses de vida las sinapsis de la corteza visual se incrementan de manera significativa proveyendo conectividad con el correspondiente desarrollo ordenado de la discriminación de formas y tamaños primero (vía visual ventral) seguido de la sensibilidad para detectar la direccionalidad del movimiento (vía visual dorsal). Entre los 5 y los 6 meses se integra la acción manual y la percepción espacial más amplia lográndose una integración locomotriz con control atencional del espacio lejano y cercano (Atkinson & Nardini, 2008). La vía dorsal transmite información visual a la corteza motora primaria y proyecta también a la corteza premotora y prefrontal. La Figura 9 muestra el modelo funcional del desarrollo de los dos sistemas visuales durante el primer año de vida, propuesto por Atkinson y Nardini.

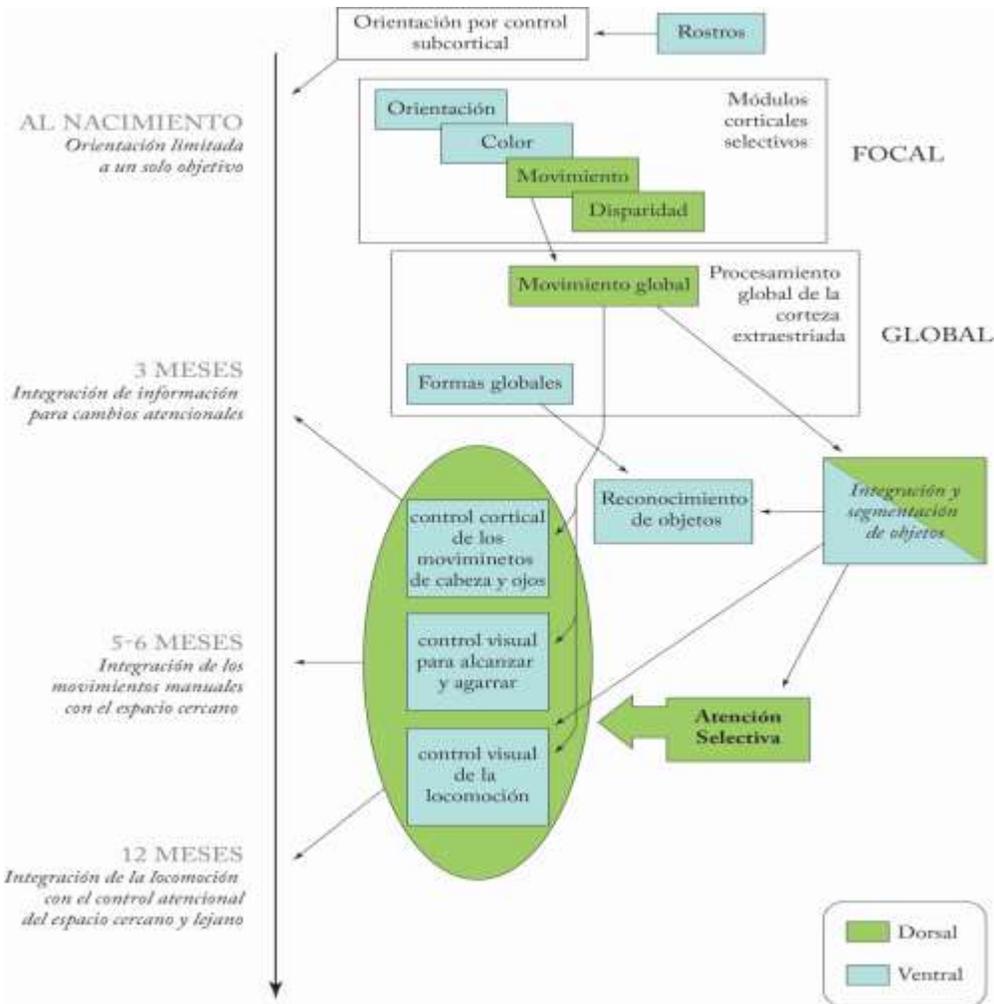


Figura 9. Modelo funcional del desarrollo de los dos sistemas visuales durante el primer año de vida propuesto por Atkinson & Nardini (2008).

Dado que el control atencional juega un papel central en el desarrollo visoespacial debemos mencionar la propuesta de la existencia de dos sistemas atencionales; uno posterior que subyace a la atención visoespacial y otro anterior supramodal que estaría envuelto en varias funciones cognitivas complejas y que se relacionaría con las funciones ejecutivas (Posner & Dehaene, 1994). Además, la atención ha sido también descrita como un mecanismo que permite la selección de la acción bien sea de un movimiento ocular o

de un movimiento corporal de manera efectiva; esta atención sería un tipo de atención encubierta que actuaría sobre las áreas premotoras y le permitiría al niño decidir entre varios modelos de acción cuando se enfrenta con la tarea de localizar espacialmente un estímulo. De acuerdo con esta propuesta los mecanismos atencionales y de acción tendrían cierta superposición funcional; la corteza premotora en el lóbulo frontal relacionada con los movimientos de las extremidades superiores (AB 6) o con los movimientos

oculares (AB8) se activarían diferencialmente en conexión con el sistema dorsal occipito parietal resultando o bien en el alcance y agarre de un objeto con la mano (si se activa AB 6) o en el seguimiento del objeto con los ojos (si solamente se activa AB 8) implicando en ocasiones movimientos de la cabeza. Todos estos programas de acción requieren de un análisis espacial de la información visual pero cada uno necesitaría representaciones espaciales diferentes y con marcos de referencia distintos. Así por ejemplo, para alcanzar y agarrar un objeto, el niño requiere únicamente representación del espacio que está cerca de él utilizando un marco de referencia egocéntrico que le permite relacionar el objeto con el movimiento (la acción) de su mano. Los sistemas viso espaciales dorsales que participan en la respuesta de orientación (seguimiento de un objeto con la mirada) o agarre de un objeto no se activan con la misma información visual. Es decir, cuando un estímulo alrededor del niño sobresale en luminosidad o en contraste el modulo cortical de orientación visual se activa y el niño dirige su cabeza y mirada hacia el objeto. Sin embargo el sistema de acción para el agarre tiene que registrar que el objeto que se va a alcanzar es de un tamaño pequeño que permite ser agarrado y que se encuentra a una distancia que el niño alcanza; estos dos sistemas de acción interactúan entre los 6 y los 9 meses con el sistema de agarre activado bajo el control del sistema de respuesta de orientación que detecta los estímulos novedosos y entre los 8 y los 12 meses la preferencia de agarre es exclusiva para los objetos pequeños de las dimensiones de la mano del niño (Atkinson & Nardini, 2008).

Para la locomoción, el niño no necesita solo el espacio egocéntrico de la longitud de su

brazo que utiliza para “alcanzar y agarrar”, sino un marco de referencia más amplio que envuelve otros objetos (espacio alocéntrico) y que permanece estable aun cuando él se mueva. Además el niño necesita aprender a pasar de manera rápida su atención entre estímulos cercanos y lejanos y procesar información simultánea de estas dos dimensiones espaciales. Conjuntamente es frecuente que el adulto le señale con un gesto un objeto para que lo busque y esta información proveniente del adulto es procesada adecuadamente hacia los dos años de edad.

La locomoción adecuada incluye un buen equilibrio que se inicia hacia los 15 meses y se continúa durante la infancia. El caminar adecuadamente en el medio que rodea al niño implica además no chocar con objetos y planear los movimientos dependiendo de ellos. El niño tiene entonces que tomar decisiones visuales tales como por ejemplo, ¿me paso por encima de este objeto? o ¿tengo que caminar alrededor? y si tengo que pasarlo ¿a qué altura tengo que levantar mis pies? Este tipo de decisiones son importantes desde planear pequeños pasos hasta trayectorias más largas. Evitar objetos o pasar por encima de ellos exigen un análisis del tamaño de los mismos. El desplazamiento exitoso a través de la locomoción implica entonces integrar esta información viso espacial del medio ambiente con información de la auto habilidad motora que incluirían destreza y velocidad al caminar. Esta capacidad para modificar la locomoción dependiendo de las características propias del cuerpo se observan en el niño a partir de los 3 años.

» *Desarrollo de la vía visual ventral*

La vía visual ventral occipito-temporal realiza un procesamiento global de formas, con la consecuente representación del estímulo

visto que se logra con la ayuda de los movimientos oculares exploratorios. Dentro de los estímulos reconocidos por este sistema están objetos animados e inanimados, lugares (marcas geográficas) y caras.

Así como en el desarrollo de la vía dorsal se distinguió entre el procesamiento local y global del movimiento, una distinción semejante entre el procesamiento de local y global de formas se puede hacer con el desarrollo de la vía ventral. Cuando el niño nace solamente puede percibir fragmentos de los estímulos visuales y es solamente hacia los cinco meses que es capaz de detectar formas de manera global y no segmentada. Esta capacidad de integración de las partes de un estímulo en un todo organizado parecen asociarse con la maduración de la región extra-estriada V4 (AB 19) que similar a la función que realiza V5 con la percepción global del movimiento, esta región percibe globalmente formas.

El desarrollo del reconocimiento de rostros en el niño ha sido quizá la más estudiada con relación a la función del sistema ventral. De hecho, los recién nacidos presentan gran atracción por las caras no observada por estímulos visuales de complejidad similar (Johnson & Morton, 1991; Valenza, Simion, Cassia, & Umiltà, 1996). Algunos han sugerido inclusive que nacen con una representación innata del rostro humano. Al nacer se observa una sensibilidad a la configuración de primer nivel (información de rasgos) y aparentemente el estímulo se reconoce como una cara. Entre los 3-4 meses se inicia una discriminación de caras con base en un análisis de configuraciones de segundo nivel que permite diferencias entre individuos (características del rostro con diferenciación espacial) (Turati, Di Giorgio, Bardi, & Simion, 2010) y que se ha

asociado con el desarrollo de la circunvolución fusiforme y la conectividad entre la corteza occipital y temporal. Lesiones en la circunvolución fusiforme producen prosopagnosia tanto en adultos como en niños aunque es inusual en estos últimos (Bobes et al., 2004; Kanwisher, McDermott, & Chun, 1997; Lopera & Ardila, 1992). Así mismo, los métodos de neuroimagen han permitido determinar que la memoria de rostros familiares en niños se asocia con una activación incrementada de la circunvolución fusiforme. Incluso el tamaño de esta circunvolución occipito-temporal aumenta con la edad haciéndose más prominente en niños mayores. Este crecimiento es progresivo hasta los 11 años cuando la región fusiforme alcanza el tamaño que tiene en el adulto (Golarai et al., 2007).

A pesar de que la percepción de rostros se relaciona con circuitos cerebrales muy específicos de las regiones occipito-parietales, este proceso está influido por el tipo de rostros que el niño ve. El reconocimiento de la configuración facial inicial se refina con esa experiencia. Se ha establecido que durante el primer año de vida el niño presenta un reconocimiento universal de rostros. Durante el 1 año de vida puede discriminar estímulos perceptuales no familiares (caras de dos grupos étnicos, fonemas de lenguas no nativas). Este reconocimiento universal de caras se va perdiendo y el niño progresivamente puede reconocer los rostros de grupo étnicos a los que está expuesto perdiendo la capacidad de reconocimiento de caras pertenecientes a grupos étnicos que no ve con frecuencia.

Esta reducción en la percepción de los rostros que no tienen un valor social realza la importancia que la experiencia tiene en el desarrollo perceptual y denota además la

plasticidad cerebral que se observa a esta edad con el fin de lograrse una adaptación sociocultural óptima. El cerebro del niño aprende a reconocer con más precisión los rostros que tienen un valor social y no vuelve a reconocer aquellos que no lo tienen. Para explicar las bases cerebrales de esta reducción perceptual que también se observa para los fonemas del lenguaje (Rosselli, Ardila, Matute, & Velez-Urbe, 2015) se han propuesto dos teorías. La primera llamada teoría regresiva del desarrollo neural, propone la eliminación progresiva de ciertas conexiones que no se usan creando una poda sináptica (Faulkner, Low, & Cheng, 2006). En contraste otros autores sugieren que es la elaboración selectiva de sinapsis es la que probablemente explica este fenómeno perceptual permitiéndole al niño formar nuevas conexiones para lograr un mejor reconocimiento de los estímulos a los que tiene de mayor exposición (Lewkowicz & Ghazanfar, 2011).

A pesar de que las regiones cerebrales occipito-temporales parecen tener un determinante genético con relación a su función perceptual, las experiencias del individuo juegan un papel decisivo en el desarrollo de esa función. Otro ejemplo lo proporciona el efecto que tiene la dirección del estímulo sobre la rapidez de percepción. Se ha encontrado que a diferencia de los niños pequeños, los adultos presentan un efecto en la dirección del estímulo cuando reconocen rostros en fotografías. Esto quiere decir que identifican el rostro más rápido si la fotografía se presenta en la posición usual y son capaces de notar detalles del mismo en esta posición; pero son poco hábiles para hacerlo cuando la fotografía se muestra invertida. Este efecto de la orientación del estímulo se observa a partir de los 3 o 4 años de edad. Antes de los

4 años los niños son diestros en la identificación de objetos y rostros, independientemente de su orientación espacial. Es claro entonces que las experiencias visuales intervienen en el desarrollo de habilidades cognitivas específicas y muy probablemente en el proceso maduracional de las correspondientes regiones cerebrales (Rosselli & Matute, 2010).

El aprendizaje de rostros está intrínsecamente ligado con la percepción de expresiones emocionales. Aparentemente esta asociación entre la identificación de un rostro y su correspondiente expresión emocional se acompaña con el fortalecimiento de conexiones entre la circunvolución fusiforme y las estructuras del sistema límbico del lóbulo temporal, particularmente de la amígdala (Gur et al., 2002). Killgore y Yirgelun-Todd (2007) han encontrado cambios en la activación de estas regiones temporo-límbicas en concordancia con la edad. Los adolescentes, por ejemplo, presentan una mayor activación de la amígdala derecha cuando perciben caras tristes comparadas con niños más pequeños y aun con adultos. Los autores sugieren que la madurez cerebral observada en el adulto se acompaña de una reducción en la activación de los circuitos límbicos que procesan información emocional y probablemente con una mayor participación de circuitos corticales. Es decir, a medida que el cerebro madura no solo las áreas cerebrales encargadas del reconocimiento de rostros se hacen más grandes, sino que en aquellas conexiones que median la identificación de expresiones emocionales también aumenta la mielinización, volviéndose con ello más eficientes. Estos cambios estructurales y funcionales se correlacionan con una mayor

habilidad perceptual y con un mayor control emocional (Rosselli & Matute, 2008).

» *Desarrollo de la cognición espacial*

Se cree que los humanos y otros animales utilizan dos métodos fundamentales para identificar la posición de los objetos en el medio ambiente; uno externo que aprecia las distancias y la direccionalidad tomando señales externas geográficas, y el otro interno que es un sistema de auto referencia relacionando el objeto con el mismo individuo registrando la distancia a la que se encuentra el objeto y la dirección del movimiento si este se encuentra en movimiento; además este sistema interno aprende a relacionar la dirección del automovimiento con la dirección del movimiento del objeto (Gallistel, 1990; Sholl, 1995). Estos dos sistemas de ubicación espacial se van desarrollando en paralelo en el niño (Newcombe & Huttenlocher, 2000). Ya desde los 6 meses posee componentes vitales de los dos sistemas. Con relación al sistema de referencia externo, los infantes de 6 meses son capaces de codificar la localización de un objeto y su distancia (Learmonth et al., 2001; Newcombe, Huttenlocher, & Learmonth, 1999). Hacia el segundo año puede combinar estas dos habilidades codificando la distancia de objetos o sitios que se encuentren lejanos lo que se ha llamado "aprendizaje de lugares" (*place learning*) (Newcombe, Huttenlocher, Drumme, & Wiley, 1998). Con relación al sistema de auto referencia los niños comienzan por codificar localización en términos de las repuestas motoras requeridas para acceder a esa localización (i.e., Acredolo, 1977, 1990; Millar, 1994). En los años siguientes se observa refinamiento en la habilidad para codificar información espacial compensando por movimientos autogenerados. (Rider & Rieser, 1988; Rieser & Rider, 1991). En general lo que se

observa es que el desarrollo espacial se va haciendo más preciso e independiente de la habilidad motora (Newcombe & Huttenlocher, 2000). Igualmente en un comienzo la codificación que el niño hace del espacio esta referenciada con el mismo pero con la experiencia comienza a utilizar referencias topográficas independientes de él.

Se ha propuesto que el niño nace con un módulo de orientación denominado módulo geométrico que le ayudaría a orientarse en el espacio sin tener que utilizar otro tipo de información por ejemplo verbal (Gallistel, 1990). El término "módulo" se originó con la propuesta de Fodor (1983) de que el cerebro contiene circuitos de neuronas con dominios funcionales específicos. Estos módulos tendrían por objetivo la simplificación de tareas complejas limitando el número de entradas o *inputs*. El término geométrico se define como la propiedad que un cuerpo sólido, una superficie, una línea o un punto tienen en virtud de su posición con relación a otro sólido, superficie, línea o punto (Gallistel). Este módulo tendría como función la localización espacial propiamente dicha. Es así como en un comienzo el niño únicamente utilizaría este módulo para localizar objetos y es solamente después de los 24 meses que comienza a utilizar otras marcas espaciales para orientarse como serían por ejemplo el color de las paredes, la existencia de otros objetos alrededor para reorientarse en un espacio rectangular cerrado. Si al niño de esta edad se le esconde un objeto después de desorientarlo busca el objeto recorriendo el rectángulo por los bordes en lugar de usar otras marcas espaciales. Hermer y Spelke (1994) sugieren que este módulo es innato y que solamente con la experiencia el niño va combinando información no geométrica como sería por ejemplo otra información

visual e información auditiva para adquirir habilidades de reorientación. Apoyando este argumento Hermer-Vazquez, Spelke y Katsnelson (1999) encuentran que los niños de 6 a 7 años utilizan exitosamente estas otras claves lingüísticas espaciales para reorientarse. Este módulo geométrico si existiera estaría probablemente representado en el sistema visual dorsal.

Los estudios que han analizado el desarrollo infantil del procesamiento visual han examinado la capacidad de los niños en diferentes edades para analizar patrones visuales bien sea de manera global (el todo) o de forma local o focal (partes). Una zona cerebral crítica en este análisis sería la región occipito-temporal correspondiente al sistema visual ventral, con una ventaja del hemisferio derecho cuando el análisis que se realiza es global y una ventaja del hemisferio izquierdo cuando este análisis es local (Stiles et al., 2008). Aunque este patrón de lateralización hemisférica característico del adulto, parece surgir temprano en el desarrollo se establece en el niño solamente entre los 12 y los 14 años. Los niños más jóvenes entre los 7 y los 11 años presentan un patrón de activación bilateral (los dos hemisferios cerebrales se activan) progresivamente se observa un patrón lateralizado derecho o izquierdo dependiendo del tipo de procesamiento visual, global o local.

» *Memoria y desarrollo de la cognición espacial*

Otro aspecto relevante en el desarrollo de las habilidades visoespaciales del niño es la capacidad de memoria espacial. Aparentemente existen dos tipos de sistemas de memoria espacial. Por un lado está un sistema de memoria específico que maneja la memoria de localización (en qué posición del espacio se encuentran los objetos del mundo circundante) y que

parece estar manejado por la vía visual dorsal; el otro sistema maneja una memoria espacial más compleja y estaría controlado por el hipocampo, la circunvolución parahipocámpica y la corteza entorrinal.

Uno de los precursores de la memoria de localización se observa cuando el niño supera el error A no B en la clásica tarea Piagetiana. En esta tarea se esconde de manera repetida un objeto en un sitio A para luego moverla a un sitio B. Hasta los 9 meses el niño a pesar de haber visto que el objeto se ha movido a otro sitio B, continua buscándolo en el sitio A. Cuando este error se supera se dice que hay permanencia del objeto y que este existe independiente del tiempo y del espacio. Se dice además que el niño ha aprendido a localizar un objeto. Esta habilidad de localización espacial en esta tarea en particular parece estar controlada fundamentalmente por las estructuras del lóbulo frontal pues la tarea es no sólo de localización sino de la memoria operativa. Sin embargo, la ulterior maduración de la corteza parietal, prefrontal e hipocámpal, mejoran la memoria para localizar objetos. El adelanto de esta memoria implica cambios en sus marcos de referencia espacial. Inicialmente se da una representación egocéntrica en la que el cuerpo del niño es el marco de referencia, que da información suficiente para una acción inmediata por ejemplo agarrar el objeto. Representaciones más sólidas se proporcionan cuando el niño registra el sitio en el que se encuentra el objeto con relación a marcas topográficas estables, utilizando un marco de referencia allocéntrico. Este nuevo marco de referencia le permite al niño encontrar un objeto aun cuando él cambio de posición.

Hacia el segundo año el niño es capaz de utilizar marcas topográficas externas y entre

los 16 y 36 meses busca y encuentra objetos que le han escondido en un arenero después de caminar de un lado para otro mostrando así actualización espacial.

- Alteraciones infantiles de las habilidades visoespaciales

» *Vulnerabilidad de la vía dorsal*

Defectos en la percepción global del movimiento se observan frecuentemente en los trastornos de desarrollo y se ha denominado “vulnerabilidad de la vía dorsal” (Atkinson et al., 2001) Así por ejemplo los niños con el Síndrome de Williams (hipercalcemia infantil) típicamente presenta un perfil neuropsicológico con adecuadas habilidades lingüísticas con buenas habilidades en el reconocimiento de caras pero severamente alterada la capacidad de cognición espacial (Bellugi, Wang, & Jernigan, 1993). Además, los niños con el síndrome de Williams (SW) presentan un retraso en el desarrollo psicomotor con lentitud para aprender a caminar y retraso de aproximadamente dos años en la adquisición de la motricidad fina. Dificultades en el uso de herramientas y la percepción rápida de escaleras o superficies desiguales son frecuentes y pueden persistir aun en la adultez.

Este perfil neuropsicológico descrito en niños con SW sugiere que las funciones de la vía ventral (reconocimiento de caras) permanece sin alteración en casos de problemas en el desarrollo de origen genético mientras que las funciones del sistema dorsal son mucho más vulnerable en estos casos. Atkinson y colaboradores (2003) han evaluado esta disociación perceptual comparando el desempeño de estos niños en pruebas que requieran integración de movimiento e integración de formas. Observando que muchos niños con SW tienen más dificultades en las primeras

tareas que en las segundas. Patrones perceptuales similares han sido descritos en niños con otros trastornos genéticos del desarrollo como los Trastornos del espectro autista, el síndrome X frágil y el síndrome de Turner apoyando el concepto de la vulnerabilidad de la vía dorsal.

» *Desorientación topográfica de desarrollo*

Existen casos en la literatura de personas que tiene un trastorno específico en el desarrollo de habilidades espaciales denominado desorientación topográfica del desarrollo, caracterizado por problemas para la navegación espacial con una capacidad intelectual normal y sin antecedentes de trastornos perinatales, neurológicos o psiquiátricos (Bianchini et al., 2010; Iaria, Bogod, Fox, & Barton, 2009). Este trastorno al igual que cualquier otro trastorno específico de aprendizaje, como serian la prosopagnosia del desarrollo, la amusia, la dislexia o la agnosia para objetos, no es consecuencia de daño cerebral sino que por un problema de desarrollo aun no explicado el funcionamiento cerebral difiere de los niños con desarrollo típico.

A pesar de que Iaria y Barton (2010) describen 120 casos con desorientación topográfica del desarrollo que encontraron mediante una búsqueda en línea, pocos análisis se han hecho sobre la naturaleza cerebral y los correlatos neuropsicológicos de este trastorno. Cuatro casos se han descrito en detalle en la literatura. El primero corresponde a una mujer de 43 años con dificultades para crear un mapa cognoscitivo y para representar el medio ambiente pero sin problemas en el reconocimiento de lugares o de marcas topográficas (Iaria et al., 2009). El segundo caso concierne al de un hombre de 22 años con un severo trastorno en la navegación que le impedían un desplazamiento adecuado en su medio

circundante (Bianchini et al., 2010). El tercero incluye a un hombre de 29 años con un trastorno menos severo pues mantenía habilidades normales para seguir mapas, y reconocer marcas topográficas (Bianchini et al., 2014). El último caso es el de un hombre de 38 años con severas dificultades para orientarse y para navegar en medio ambientes muy conocidos (Palermo et al., 2014).

Desde el punto de vista neuropsicológico se ha encontrado que además de las dificultades para desempeñar tareas que implican seguimiento de rutas, y formación de mapas mentales de rutas nuevas, estos pacientes presentan dificultades para ensamblar rompecabezas demostrando problemas para conectar el todo a partir de sus partes y para localizar marcas topográficas en tareas de mapas (Bianchini et al., 2014; Palermo et al., 2014). Sin embargo, el desempeño en otras tareas neuropsicológicas incluyendo tareas constructivas de copia de figuras complejas puede encontrarse dentro de los límites normales. Más aun en el caso descrito por Palermo et al., el trastorno es casi selectivo para la navegación sin mayores dificultades viso espaciales.

De acuerdo con la interpretación de Palermo y colaboradores (2014), los individuos con trastorno topográfico de desarrollo presentarían una severa alteración en el procesamiento espacial de estímulos visuales que requieren de una representación mental dentro de un espacio físico. Estas serían, según los autores, habilidades dependientes de la corteza parietal posterior (vía visual dorsal) y de las regiones posteriores al esplenio del cuerpo calloso (retroesplénico) (AB 29 y AB 30) (Epstein & Vass, 2013).

La incapacidad para hacer representaciones mentales les impediría procesar simultáneamente la representación del espacio egocéntrico y allocéntrico. Los pacientes presentan durante estas tareas de integración espacial y navegación (juzgar la ubicación correcta de marcas topográficas en una ruta conocida) activación de las áreas de análisis perceptual de la corteza occipital a un nivel bajo pero comparado con los controles normales no activan la región parahipocámpica (AB 35 y AB 36) y retrosplenial (posterior al esplenio) (ver Figura 10). Aparentemente esta falta de participación de estas áreas cerebrales hace que en pacientes con trastorno topográfico del desarrollo las marcas topográficas constituyan estímulos visuales sin una representación mental de direccionalidad, es decir sin una ubicación espacial. Esta región parahipocámpica ha sido funcionalmente llamada "área de ubicación" (place area) por presentar una activación incrementada cuando el individuo está expuesto a escenas de lugares comparada con otro tipo de estímulos visuales. Otros estudios han sugerido que mientras que la región retrosplenial procesa el conocimiento espacial con la correspondiente localización y orientación de los estímulos visuales, la región parahipocámpica analiza las escenas visibles o sea las marcas topográficas (Epstein & Higgins, 2007; Epstein & Vass, 2013; Park & Chun, 2009). Estos resultados sugieren que estas dos regiones cerebrales tendrían funciones complementarias durante la navegación de un espacio físico (Park & Chun). Es así como pacientes con lesiones en la región retrosplenial reconocen marcas topográficas pero no pueden darle la información espacial que les corresponde (Takahashi, Kawamura, Shiota, Kasahata, & Hirayama, 1997). Barrash, Damasio, Adolphs y Tranel (2000) sugieren que la

región retrosplenial es esencial en la formación de las representaciones

espaciales de los lugares es decir su relación con el ambiente.

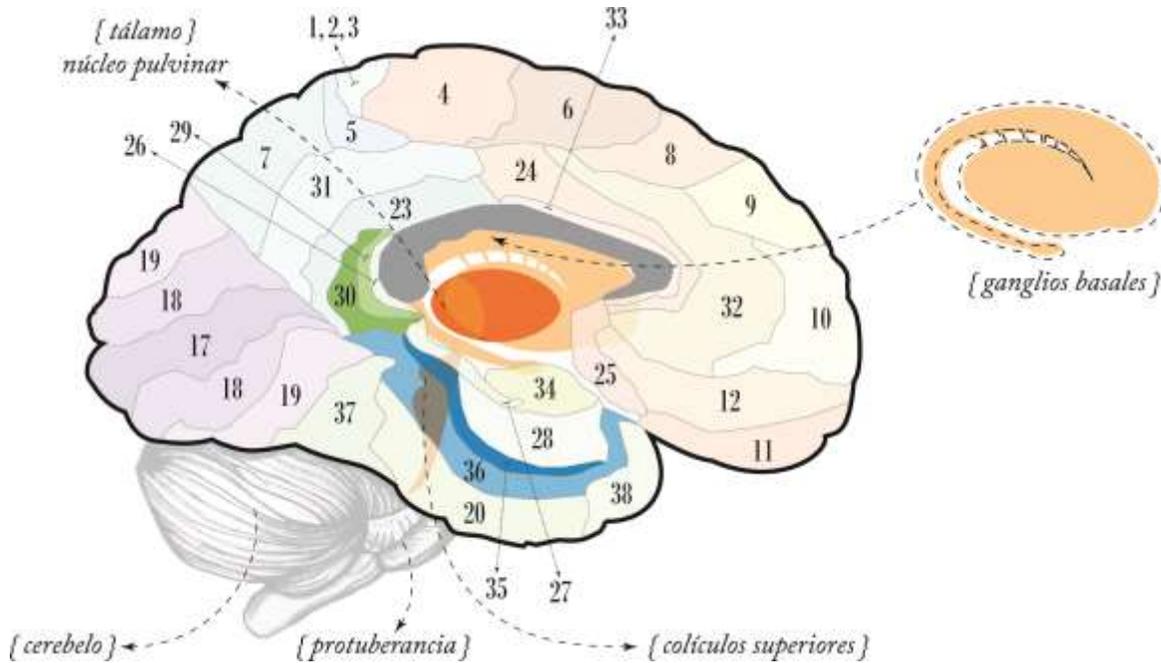


Figura 10. Se muestran las regiones parahipocampales (AB 35 y AB 36) y retrospleniales (AB 29 y AB 30).

Palermo y colaboradores (2014) sugieren que en el trastorno topográfico de desarrollo hay una falta de competencias de navegación básicas desde el nacimiento que previenen el desarrollo de rutas de navegación que impiden la ulterior representación integrada del ambiente egocéntrico y allocéntrico. El resultado final será la falta de mapas cognoscitivos del medio ambiente circundante que normalmente se desarrollan durante la edad escolar. En otras palabras a pesar de poseer una inteligencia dentro de los límites normales estos individuos funcionarían en el manejo espacial al nivel de los niños de edad preescolar.

### Conclusiones

El desarrollo viso espacial y viso construccional es el resultado de la integración de habilidades motoras y espaciales que progresivamente se van volviendo más sofisticadas; el proceso se inicia con el desarrollo del sistema visual oculomotor que permite la exploración del ambiente y se continua con el desarrollo motor de las extremidades que le da al niño acceso al agarre de objetos y posteriormente le permite desplazarse hacia ellos. Al explorar el medio ambiente el niño desarrolla la noción de dos espacios: uno egocéntrico y el otro allocéntrico. Es así como progresivamente aprende dimensiones

espaciales que en sintonía con una mejor motricidad fina le permiten construir objetos a partir de sus partes (praxis constructiva). En general lo que se observa es que las habilidades espaciales se van haciendo cada vez más precisas e independientes de la habilidad motora. Paralelamente se va perfeccionando la cognición espacial que incluye la habilidad para aprender rutas y ubicar lugares (marcas topográficas) formándose representaciones mentales (mapas) del espacio que rodea al niño.

Desde el punto de vista cerebral el desarrollo de estas habilidades viso-espaciales y viso-constructivas envuelven a los sistemas visuales dorsales y ventrales que nos indican respectivamente en donde se encuentran los objetos y que objetos (lugares) vemos. A pesar de ser el sistema visual dorsal (occipito-parietal), el más estrechamente relacionado con las habilidades espaciales, para desarrollarse adecuadamente necesita de un propicio sistema ventral (occipito temporal). Además es necesaria dentro de esta ecuación de desarrollo la interacción del lóbulo frontal (control ejecutivo) y de las estructuras mediales del lóbulo temporal (memoria). Finalmente las regiones retrosplenias parecen jugar un papel central en la habilidad para ubicar marcas topográficas dentro de rutas de navegación.

Inicialmente los dos hemisferios cerebrales participan de manera equivalente en la cognición espacial pero al igual que en el adulto esta cognición está más lateralizada en el hemisferio derecho en niños mayores.

El desarrollo anormal de las habilidades espaciales se pueden observar en el trastorno de desarrollo topográfico o en otros trastornos de origen genéticos como resultado en estos últimos de una vulnerabilidad de la vía dorsal.

## Referencias

Acredolo, L. P. (1977). Developmental changes in the ability to coordinate perspectives of a large scale space. *Developmental Psychology*, 13, 1-8. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/0012-1649.13.1.1>

Acredolo, L. P. (1990). Behavioral approaches to spatial orientation in infancy. En: A. Diamond (Ed.), *The Development and Neural Bases of Higher Cognitive Functions* (pp. 596-607). New York: New York Academy of Sciences.

Ardila, A., & Rosselli, M. (2007). *Neuropsicología Clínica*. Mexico: Manual Moderno.

Atkinson, J., Anker, S., Braddick, O., Nokes, L., Mason, A., & Braddick, F. (2001). Visual and visuospatial development in young children with Williams syndrome. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 43(5), 330-337. doi: 10.1111/j.1469-8749.2001.tb00213.x

Atkinson, J., Braddick, O., Anker, S., Curran, W., Andrew, R., Wattam-Bell, J., & Braddick, F. (2003). Neurobiological models of visuospatial cognition in children with Williams syndrome: Measures of dorsal-stream and frontal function. *Developmental Neuropsychology*, 23(1-2), 139-172. doi: 10.1080/87565641.2003.9651890

Atkinson, J., & Nardini, M. (2008). The neuropsychology of visuospatial and visuomotor development. En: J. Reed & J. Warner-Rogers, J. (Eds.), *Child Neuropsychology: Concepts, Theory and Practice* (pp. 183-217). Chichester, UK: Wiley-Blackwell.

- Barrash, J., Damasio, H., Adolphs, R., & Tranel, D. (2000). The neuroanatomical correlates of route learning impairment. *Neuropsychologia*, *38*, 820-836. doi: 10.1016/S0028-3932(99)00131-1
- Bellugi, U., Wang P. P., & Jernigan, T. L. (1993). Williams syndrome: An unusual neuropsychological profile. En: S. H. Broman, & J. Grafman (Eds.), *Atypical cognitive deficits in developmental disorders: Implications for brain function* (pp. 23-56). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Bianchini, F., Incoccia, C., Palermo, L., Piccardi, L., Zompanti, L., Sabatini, U., et al. (2010). Developmental topographical disorientation in a healthy subject. *Neuropsychologia*, *48*, 1563-1573. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.01.025
- Bianchini, F., Palermo, L., Piccardi, L., Incoccia, C., Nemmi, F., Sabatini, U., & Guariglia, C. (2014). Where am I? A new case of developmental topographical disorientation. *Journal of Neuropsychology*, *8*(1), 107-124. doi: 10.1111/jnp.12007
- Bobes, M., Lopera, F., Díaz Comas L., Galan, L., Carbonell, F., Bringas M., & Valdés-Sosa, M. (2004). Brain potentials reflect residual face processing in a case of prosopagnosia. *Cognitive Neuropsychology*, *21*(7), 691-718. doi: 10.1080/02643290342000258
- Epstein, R. A., & Higgins, J. S. (2007). Differential parahippocampal and retrosplenial involvement in three types of visual scene recognition. *Cerebral Cortex*, *17*, 1680-1693. doi: 10.1093/cercor/bhl079
- Epstein, R. A., & Vass, L. K. (2013). Neural systems for landmark-based wayfinding in humans. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, *369*, 20120533. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0533>
- Faulkner, R. L., Low, L. K., & Cheng, H. J. (2006). Axon pruning in the developing vertebrate hippocampus. *Developmental Neuroscience*, *29*(1-2), 6-13. doi: 10.1159/000096207
- Fodor, J. A. (1983). *Modularity of mind: An essay on faculty psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gallistel, C. R. (1990). *The Organization of Learning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neuroscience*, *15*(1): 20-25. doi:10.1016/0166-2236(92)90344-8.
- Golarai, G., Ghahremani, D., Whitfield-Gabrieli, S., Reiss, A., Eberhardt, J., Gabrieli, J., & Grill-Spector, K. (2007). Differential development of high-level visual cortex correlates with category-specific recognition memory. *Nature Neuroscience*, *10*, 512-522. doi: 10.1038/nn1865
- Gur, R., Schroeder, L., Turner, T., McGrath, C., Chan, R., Turetsky, B., et al. (2002). Brain activation during facial emotion processing. *Neuroimage*, *16*, 651-662. doi: 10.1006/nimg.2002.1097
- Hermer, L., & Spelke, E. S. (1994). A geometric process for spatial reorientation in young children. *Nature*, *370*(6484), 57-59. doi: 10.1038/370057a0

- Hermer-Vazquez, L., Spelke, E. S., & Katsnelson, A. (1999). Sources of flexibility in human cognition: Dual-task studies of space and language. *Cognitive Psychology*, 39(1), 3-36. doi: 10.1006/cogp.1998.0713
- Iaria, G., Bogod, N., Fox, C. J., & Barton, J. J. (2009). Developmental topographical disorientation: Case one. *Neuropsychologia*, 47(1), 30-40. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2008.08.021
- Iaria, G., & Barton, J. J. (2010). Developmental topographical disorientation: A newly discovered cognitive disorder. *Experimental Brain Research*, 206(2), 189-196. doi: 10.1007/s00221-010-2256-9
- Johnson, M. H., & Morton, J. (1991). *Biology and cognitive development: The case of face recognition*. Cambridge, MA: Blackwell.
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience*, 17, 4302-4311.
- Killgore, W., & Yurgelun-Todd, D. (2007). Unconscious processing of facial affect in children and adolescents. *Social Neuroscience*, 2, 28-47. doi: 10.1080/17470910701214186
- Learmonth, A. E., Newcombe, N. S., & Huttenlocher, J. (2001). Toddlers' use of metric information and landmarks to reorient. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80(3), 225-244. doi:10.1006/jecp.2001.2635
- Lange, J. (1936). Agnosien und Apraxien. En: O. Bumke, & O. Förster (Eds.), *Handbuch der Neurologie* (vol.6, pp. 809-960). Berlin: Springer.
- Lewkowicz, D. J., & Ghazanfar, A. A. (2011). Paradoxical psychological functioning in early childhood development. En: N. Kapur (Ed.), *The Paradoxical Brain* (pp. 110-129). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lopera, F., & Ardila, A. (1992). Prosopamnesia and visuolimbic disconnection syndrome: A case study. *Neuropsychology*, 6, 3-12. doi: http://dx.doi.org/10.1037/0894-4105.6.1.3
- McIntosh, R. D., & Schenk, T. (2009). Two visual streams for perception and action: current trends. *Neuropsychologia*, 47(6), 1391-1396. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.02.009
- Millar, S. (1994). *Understanding and representing space: Theory and evidence from studies with blind and sighted children*. Oxford: Clarendon.
- Muetzel, R. L., Collins, P. F., Mueller, B. A., Schissel, A. M., Lim, K. O., & Luciana, M. (2008). The development of corpus callosum microstructure and associations with bimanual task performance in healthy adolescents. *Neuroimage*, 39(4), 1918-1925. doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.10.018
- Newcombe, N., & Huttenlocher, J. (2000). *Making space: The development of spatial representation and reasoning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Newcombe, N., Huttenlocher, J., Drummey, A. B., & Wiley, J. (1998). The development of spatial location coding: Place learning and dead reckoning in the second and third years. *Cognitive Development*, 13, 185-200. doi: 10.1016/S0885-2014(98)90038-7

- Newcombe, N., Huttenlocher, J., & Learmonth, A. (1999). Infants' coding of location in continuous space. *Infant Behavior and Development*, 22, 483-510. doi: 10.1016/S0163-6383(00)00011-4
- Overman, W. H., Pate, B. J., Moore, K., & Peuster, A. (1996). Ontogeny of place learning in children as measured in the radial arm maze, Morris search task, and open field task. *Behavioral Neuroscience*, 110(6), 1205-1228. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/0735-7044.110.6.1205>
- Palermo, L., Piccardi, L., Bianchini, F., Nemmi, F., Giorgio, V., Incoccia, C., et al. (2014). Looking for the compass in a case of developmental topographical disorientation: A behavioral and neuroimaging study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 36(5), 464-481. doi: 10.1080/13803395.2014.904843
- Park, S., & Chun, M. M. (2009). Different roles of the parahippocampal place area (PPA) and retrosplenial cortex (RSC) in panoramic scene perception. *NeuroImage*, 47, 1747-1756. doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.04.058.
- Posner, M. I., & Dehaene, S. (1994). Attentional networks. *Trends in Neurosciences*, 17(2), 75-79. doi: 10.1016/0166-2236(94)90078-7
- Rider, E. A., & Rieser, J. J. (1988). Pointing at objects in other rooms: Young children's sensitivity to perspective after walking with and without vision. *Child Development*, 480-494. doi: <http://www.jstor.org/stable/1130326>
- Rieser, J. J., & Rider, E. A. (1991). Young children's spatial orientation with respect to multiple targets when walking without vision. *Developmental Psychology*, 27(1), 97-107.
- Rosselli, M., Ardila, A., Matute, E., & Velez-Urbe I. (2014). Language development across the life span: A neuropsychological/neuroimaging perspective. *Neuroscience Journal*, vol. 2014, Article ID 585237, 21 pages. doi:10.1155/2014/585237
- Rosselli, M., & Matute, E. (2008). Desarrollo cognoscitivo y maduración cerebral: Una perspectiva neuropsicológica. En: E. Matute, & S. Guajardo (Eds.), *Tendencias Actuales de las Neurociencias Cognitivas* (pp. 87-100). Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.
- Rosselli, M., & Matute, E. (2010). Desarrollo cognoscitivo y maduración cerebral. En: M. Rosselli, E. Matute, & A. Ardila (Eds.), *Neuropsicología del Desarrollo Infantil* (pp. 15-46). Mexico: Manual Moderno.
- Sholl, M. J. (1995). The representation and retrieval of map and environment knowledge. *Journal of Geographical Systems*, 2, 177-195.
- Stile, J., Sabbadini, L., Capirci, O., & Volterra V. (2000). Drawing abilities in Williams syndrome: A case study. *Developmental Neuropsychology*, 18(2), 213-235. Doi: 10.1207/S15326942DN1802\_4
- Stiles, J., Stern, C., Appelbaum, M., Nass, R., Trauner, D., & Hesselink, J. (2008). Effects of early focal brain injury on memory for visuospatial patterns: Selective deficits of global-local processing. *Neuropsychology*,

22(1), 61-73. doi: 10.1037/0894-4105.22.1.61

Stiles-Davis, J. (1988). Developmental change in young children's spatial grouping activity. *Developmental Psychology, 24*, 522-531. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/0012-1649.24.4.522>

Takahashi, N., Kawamura, M., Shiota, J., Kasahata, N., & Hirayama, K. (1997). Pure topographic disorientation due to right retrosplenial lesion. *Neurology, 49*(2), 464-469. doi: 10.1212/WNL.49.2.464

Turati, C., Di Giorgio, E., Bardi, L., & Simion, F. (2010). Holistic face processing in newborns, 3-month-old infants, and adults: Evidence from the composite face effect. *Child Development, 81*(6), 1894-1905. doi:

10.1111/j.1467-8624.2010.01520.x

Ungerleider, M., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. En: D. J. Ingle, M. A. Goodale, & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of Visual Behavior* (pp. 549-586). Cambridge, MA: MIT Press.

Valenza, E., Simion, F., & Cassia, V. M., & Umiltà, C. (1996). Face preference at birth. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 22*(4), 892-903. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/0096-1523.22.4.892>

Wang, R. F., & Spelke, E. S. (2002). Human spatial representation: Insights from animals. *Trends in Cognitive Sciences, 6*, 376-381. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01961-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613(02)01961-7)