

## Artículo de Revisión

### Resumen

El presente artículo presenta un marco conceptual integrador para estudiar el desarrollo cognitivo, que involucra a las siguientes disciplinas: (1) el *constructivismo*<sup>3</sup>, abordaje conceptual que considera el desarrollo como elaboración progresiva de estructuras crecientemente complejas; (2) la neurociencia cognitiva, que intenta comprender los mecanismos neurales subyacentes a la conducta; y (3) los *modelos computacionales*, que proponen especificaciones formales explícitas acerca del procesamiento de la información. El principio que guía nuestro enfoque es el de la dependencia contextual, dentro [en contraposición a Marr (1982)] y entre niveles de organización. Proponemos además que los siguientes tres mecanismos guían la emergencia representacional: *competencia*, *cooperación* y *cronotopía*, los cuales a su vez dan lugar a otros dos procesos centrales denominados proactividad y especialización progresiva. En tal contexto, proponemos que el resultado principal del desarrollo consiste en representaciones parciales, distribuidas a través de diferentes circuitos neurales funcionales. Este marco se deriva del examen del desarrollo a nivel neuronal, de sistemas cerebrales y de organismos complejos. Utilizamos los términos *encellment*<sup>4</sup>, *embrainment* y *embodiment*, para describir las influencias contextuales de nivel superior que actúan en cada uno de estos niveles de organización. Para ilustrar el funcionamiento de estos mecanismos, presentamos estudios de casos sobre percepción visual temprana, habituación infantil, desarrollo fonológico y la representación de objetos durante la infancia. Otros tres estudios de casos se refieren a las interacciones entre niveles de explicación: *desarrollo social*, *desarrollo atípico* y, dentro de ellos, la dislexia del desarrollo. Concluimos que el desarrollo cognitivo surge de un cambio contextual y dinámico de estructuras neurales corporizadas (*embodied*), lo que se asocia a representaciones parciales a través de múltiples regiones cerebrales y escalas temporales, en respuesta a un ambiente físico y social especificado proactivamente.

Recibido el 20 de Marzo de 2014; Aceptado el 20 de Marzo de 2014.

### Abstract

*Neuroconstructivism: How the brain constructs cognition* proposes a unifying framework for the study of cognitive development that brings together (1) constructivism (which views development as the progressive elaboration of increasingly complex structures), (2) cognitive neuroscience (which aims to understand the neural mechanisms underlying behavior), and (3) computational modeling (which proposes formal and explicit specifications of information processing). The guiding principle of our approach is context dependence, within and (in contrast to Marr [1982]) between levels of organization. We propose that three mechanisms guide the emergence of representations: competition, cooperation, and chronotopy; which themselves allow for two central processes: proactivity and progressive specialization. We suggest that the main outcome of development is partial representations, distributed across distinct functional circuits. This framework is derived by examining development at the level of single neurons, brain systems, and whole organisms. We use the terms *encellment*, *embrainment*, and *embodiment* to describe the higher-level contextual influences that act at each of these levels of organization. To illustrate these mechanisms in operation we provide case studies in early visual perception, infant habituation, phonological development, and object representations in infancy. Three further case studies are concerned with interactions between levels of explanation: social development, atypical development and within that, developmental dyslexia. We conclude that cognitive development arises from a dynamic, contextual change in embodied neural structures leading to partial representations across multiple brain regions and timescales, in response to proactively specified physical and social environment.

<sup>a</sup> School of Psychological Sciences, University of Manchester, UK.

<sup>b</sup> Division of Engineering, King's College London, UK.

<sup>c</sup> Centre for Brain and Cognitive Development, School of Psychology, Birkbeck University of London, UK.

<sup>d</sup> Department of Psychology, Oxford Brookes University, Oxford, UK.

<sup>1</sup> Cita original: Sirois, S., Spratling, M., Thomas, M. S., Westermann, G., Mareschal, D., & Johnson, M. H. (2008). Précis of neuroconstructivism: how the brain constructs cognition. *Behavioural and Brain Sciences*, 31, 321-331. doi: 10.1017/S0140525X0800407X. La traducción del artículo original en inglés ha sido autorizada por Silvy Sirois y Marc H. Johnson en representación de los autores (2012); y por Cambridge University Press (2014). La traducción estuvo a cargo de Françoise Martins de Souza (†), y fue revisada y editada técnicamente por Sebastián J. Lipina ([lipina@gmail.com](mailto:lipina@gmail.com)) y Marcelo Gorga ([marcelogorga@yahoo.com.ar](mailto:marcelogorga@yahoo.com.ar)). En la publicación en inglés, a continuación del artículo se incluyen comentarios de diferentes investigadores sobre el mismo, los cuales no han sido incluidos en esta versión traducida al español.

<sup>2</sup> Si bien el término *Précis* podría también haber sido traducido como *breviario* o *síntesis*, los editores técnicos optaron por *Compendio* debido a que el artículo compila en forma detallada y precisa una propuesta conceptual circunscripta (Nota de edición).

<sup>3</sup> Las partes del texto señaladas con letras en *italica* refiere tanto a lo que los autores señalaron de la misma forma en la versión original, como a conceptos centrales de su propuesta. Esta decisión fue tomada por los editores técnicos, con el fin de facilitar la lectura del trabajo.

<sup>4</sup> Los términos *encellment* [*enˈcellment*] y *embrainment* [*emˈbrainment*], hacen referencia a los procesos de organización del sistema nervioso a nivel de análisis celular y de sistemas celulares, respectivamente. Al no tener una traducción conocida en idioma castellano, en el resto del texto se utilizarán sus versiones originales en inglés. En cambio, el término *embodiment* [*emˈbɑːdɪmənt*] tiene una historia en la tradición neurocientífica y fenomenológica que hace referencia a "corporización", por lo que se utilizará esta término en español en el resto del texto (Notas de traducción y de edición).

## 1. Introducción

El *neuroconstructivismo* se basa en tres tradiciones. La primera es la visión constructivista del desarrollo atribuida a Jean Piaget y a sus contemporáneos, como por ejemplo el biólogo del desarrollo Waddington. El prefijo *neuro* introduce la segunda tradición, que consiste en visualizar al desarrollo psicológico como estrechamente unido con los aspectos mecánicos y morfológicos del desarrollo cerebral, desde la célula hasta el cerebro y de éste hasta el cuerpo. La tercera tradición es la de los modelos computacionales, que obligan a que las teorías asociadas al procesamiento de la información sean explícitas, lo cual resulta en un nivel de especificación que elude las teorías tradicionales verbales-descriptivas. Dos obras recientes han expuesto dos de estas tres tradiciones en forma conjunta: *Rethinking innateness (Repensando lo innato)* de Elman y colegas (1996), que argumenta a favor de un enfoque conexionista<sup>1</sup> para entender el cerebro y el desarrollo cognitivo; y *A dynamic systems approach to the development of cognition and action (Abordaje de la cognición y la acción desde la teoría de sistemas dinámicos)* de Thelen y Smith (1994), que enfatiza que el desarrollo ocurre en el contexto de la corporización (*embodiment*). En el primer volumen del libro sobre neuroconstructivismo (Mareschal et al., 2007a), agregamos a los anteriores un enfoque sobre el desarrollo neural y el desarrollo de las representaciones.

El neuroconstructivismo<sup>2</sup> enfatiza la interrelación entre desarrollo cerebral y desarrollo cognitivo. Desde esta perspectiva, conceptualizamos al desarrollo constructivista como un incremento progresivo en la complejidad de las representaciones, con la consecuencia de que se pueden desarrollar nuevas competencias sobre la base de otras, anteriores y más

simples. Este incremento en la complejidad representacional ocurre en el cerebro mediante la progresiva elaboración de las estructuras corticales. De esta forma, mientras otras teorías constructivistas han enfatizado la noción de integración jerárquica del conocimiento (e.g., Karmiloff-Smith, 1992; Piaget, 1970), el enfoque neuroconstructivista explora la relación entre la elaboración del conocimiento y el desarrollo de nuevas habilidades cognitivas. En tal sentido, afirmamos que los incrementos en la complejidad representacional surgen como consecuencia natural del proceso de adaptación, típico de los sistemas biológicos complejos como el cerebro (ver enfoques relacionados en Mareschal & Shultz, 1996; Quartz & Sejnowski, 1997; y Shultz, 2003). El neuroconstructivismo implica la creación de habilidades cognitivas nuevas y no sólo el mejor uso de habilidades preexistentes.

Asimismo, nuestro enfoque aborda el desarrollo de las representaciones mentales dentro de un ámbito físico y social. El cuerpo, que cambia sustancialmente durante la niñez, restringe lo que el niño puede experimentar, procesar y hacer; lo cual a la vez limita las posibilidades de aprendizaje y desarrollo. Por ejemplo, la agudeza visual limitada de los bebés ayuda a simplificar el ambiente visual, lo cual también podría ayudar a la integración de modalidades sensoriales en la medida que los objetos más claros –en sentido perceptual– son los que están más al alcance. Las restricciones físicas sobre las acciones también limitan las situaciones iniciales de aprendizaje, lo cual favorece en alguna medida que el niño aprenda conductas simples y efectivas antes de poder adquirir habilidades más complejas. El ambiente social también restringe qué y cómo el niño aprenderá. Por ejemplo, el uso de prácticas maternas de contención (e.g., mimos, palabras que denotan cariño) simplifica la información a procesar durante las etapas tempranas de adquisición del lenguaje. La mayoría de las sociedades humanas exponen en forma gradual a bebés y niños a los distintos tipos de problemas que éstos tendrán que aprender a dominar para poder sobrevivir.

El principio guía que subyace a nuestro enfoque es el de la *dependencia del contexto*. En el cerebro, las representaciones no emergen ni funcionan en estado de aislamiento, sino dentro de un contexto de co-ocurrencia de eventos moleculares, neurales,

<sup>1</sup> El *conexionismo* es un conjunto de enfoques en los ámbitos disciplinares de la inteligencia artificial, la psicología cognitiva, la neurociencia y la filosofía de la mente, que presenta los fenómenos de la mente y el comportamiento como procesos que emergen de redes formadas por unidades de procesamiento interconectadas. Un ejemplo de conexionismo son los modelos de redes neuronales (Nota de edición).

<sup>2</sup> El término "neuroconstructivismo" ha sido utilizado antes por otros autores, algunas veces con un significado general muy similar al nuestro (e.g., Karmiloff-Smith, 1998a; Quartz & Sejnowski, 1997); y otras veces con un significado distinto (e.g., Sheridan, 1997).

corporales y sociales. Ello restringe y guía la representación emergente a través de tres mecanismos: *cooperación*, *competición* y *cronotopía* (ver sección 2.4). Los mecanismos toman formas distintas en los diferentes niveles de implementación, pero en conjunto, habilitan otros dos procesos centrales del desarrollo: la *proactividad*, que se refiere al rol de la actividad generada internamente en el desarrollo de la función; y la *especialización progresiva*, que se refiere al hecho de que las funciones presentan una restricción progresiva de los eventos futuros al volverse más específicas y menos plásticas.

Desde nuestro enfoque sostenemos que el resultado de esos mecanismos y procesos del desarrollo son *representaciones parciales*. El cerebro adquiere y desarrolla múltiples representaciones fragmentarias que son suficientes para el procesamiento en tiempo real<sup>3</sup>. En tal contexto, el rol de la psicología del desarrollo es comprender cómo y por qué tales representaciones parciales emergen, cómo interactúan entre sí y cuán flexible es su configuración.

Un aspecto novedoso de nuestro enfoque es que el énfasis en el *contexto* requiere consistencia<sup>4</sup> entre niveles explicativos. Conceptualizamos a las funciones cognitivas como vinculadas inextricablemente a su implementación neural y a los ambientes dinámicos en los cuales surgen y operan, con interacciones que atraviesan en uno y otro sentido los diferentes niveles de organización. Respecto a explicar el desarrollo cognitivo, vemos pocos méritos en las teorías o modelos que se ajustan a los datos de un solo nivel, aunque sean adecuados, porque pueden contradecir lo que se conoce en otros niveles. De ahí que postulamos el rechazo radical del argumento sobre niveles de análisis independientes de Marr (1982). Mientras que se pueden formular explicaciones de modo independiente a distintos niveles de descripción, los mismos no son de por sí independientes. Una consecuencia de nuestro enfoque basado en la consistencia es la parsimonia. Si un fenómeno puede explicarse a distintos niveles,

utilizándose una estructura explicativa<sup>5</sup> única, entonces ello es preferible a la alternativa donde se utilizan interpretaciones diferentes e inconsistentes en cada nivel.

En la próxima sección, presentamos los fundamentos del neuroconstructivismo, que propone un conjunto de principios, mecanismos y procesos. En la sección 3, se ilustran estas ideas mediante estudios de casos en los cuales se aplica el marco neuroconstructivista a diferentes dominios del desarrollo cognitivo. En una sección de conclusión, identificamos nuevos desafíos y, brevemente comentaremos los dos volúmenes del libro *Neuroconstructivism* (Mareschal et al., 2007a,b).

## 2. Fundamentos.

### 2.1. *Encellment*

El desarrollo del sistema nervioso se suele describir como un proceso de dos etapas. Inicialmente, se genera una estructura con conectividad básica, a la que contribuye muy poco la actividad eléctrica de las neuronas. Luego, esta última se vuelve crucial para establecer los aspectos delicados de la conectividad. En consecuencia, para examinar el desarrollo cerebral a nivel celular, necesitamos distinguir entre procesos *dependientes del contexto* y procesos *dependientes de la actividad* (Crowley & Katz, 1999; Herrmann & Schatz, 1995).

En las etapas tempranas del desarrollo neural<sup>6</sup>, probablemente la actividad tenga un rol mínimo en los resultados del funcionamiento neural. En los procesos de neurogénesis, las células precursoras (e.g., neuroblastos, glioblastos) se diferencian en neuronas, células gliales o nuevas células precursoras. El resultado de tales diferenciaciones se ve afectado tanto por el linaje de las células, como por las interacciones entre ellas. Entonces, una nueva neurona migra a su posición final tanto por desplazamiento pasivo (es decir, al ser empujada por

<sup>3</sup> *On the fly* en el inglés original (Nota de traducción).

<sup>4</sup> En este contexto de análisis y desde una perspectiva epistemológica, *consistencia* haría referencia a una compatibilidad de las hipótesis o teorías formuladas para un nivel con las formuladas para otro o el resto de los niveles explicativos (Nota de edición).

<sup>5</sup> *Framework* en el inglés original (Nota de traducción).

<sup>6</sup> *Neural* hace referencia a todo componente y tipo de conectividad en el contexto del sistema nervioso (central y periférico). *Neuronal* hace referencia a todo evento en el que esté involucrado el tipo celular nervioso *neurona*. Es decir que *neural* incluye a las neuronas, así como a otros tipos celulares, componentes moleculares y procesos que tienen lugar en el sistema nervioso. Por último, *cerebral* sólo hace referencia a componentes y procesos neurales que se verifican a nivel del cerebro, que es sólo una parte integrante del sistema nervioso central (Nota de edición).

otras neuronas emergentes), como por ayuda de las células gliales radiales que guían la migración neuronal. Es decir que el contexto celular local desempeña un rol clave en la formación de las estructuras neurales.

La diferenciación neural comienza en el curso o al final del proceso de migración. A menudo, los axones neuronales recorren largas distancias (Purves et al., 1997), proceso que es facilitado por una combinación de procesos dependientes e independientes de la actividad. Una neurita -el proceso<sup>7</sup> neuronal que se convertirá en axón- desarrolla protrusiones que se desplazarán por el espacio neural en respuesta a sucesos extracelulares tanto químicos como físicos. Ciertas señales particulares guían el crecimiento axonal mientras otras lo impiden; y los procesos axonales pueden encontrar localizaciones específicas a partir de una única señal química (Goodman & Shatz, 1993). Una vez en su lugar, un axón forma conexiones específicas con dendritas de otras neuronas, en el contexto de un proceso de *competencia* con otras dendritas y axones. La actividad eléctrica endógena también desempeña un rol en la diferenciación neural presináptica temprana, de tal modo que en fases tempranas del desarrollo cerebral se observan roles clave tanto para la *dependencia del contexto* como la *dependencia de la actividad*.

La sobreproducción de células conduce a la muerte celular programada (Oppenheim, 1991). La muerte de una neurona está controlada por la combinación de factores intrínsecos y extrínsecos, que sostienen un programa de *suicidio* interno que podrá ser desencadenado o suprimido por acontecimientos químicos externos (i.e., factores tróficos), involucrados también en la guía y *competencia* celular en los procesos de diferenciación neural. Asimismo, la actividad neural parecería tener un efecto protector sobre las neuronas, ya que se asociaría a la disminución del proceso de muerte celular programada (Ghosh et al., 1994).

A nivel morfológico, la *dependencia de la actividad* es una propiedad de todo circuito de

retroalimentación, de manera que cada parte afecta a otras. En tal sentido, la actividad de las neuronas puede alterar tanto los canales iónicos<sup>8</sup> de las membranas celulares, así como también la actividad de los receptores<sup>9</sup> para neurotransmisores<sup>10</sup>, de modo tal que el perfil de respuesta de una neurona se va adaptando con el tiempo (Turrigiano et al., 1994). Asimismo, la expresión genética puede verse afectada por la actividad neural (Armstrong & Montminy, 1993). Por otra parte, la *dependencia de la actividad* también afecta la conectividad entre células. Un ejemplo de ello, es el surgimiento de columnas de dominancia ocular que implica que los estímulos sensoriales en un ojo disminuyen considerablemente el espacio ocupado por las neuronas asociadas, lo cual ilustra al mismo tiempo el mecanismo de *competencia* dependiente de la actividad.

Se han propuesto dos teorías contrapuestas entre sí para explicar el surgimiento de las áreas corticales. La primera corresponde al enfoque denominado "*proto-mapa*" (Rakic, 1988), que sugiere que en etapas tempranas del desarrollo las neuronas están predestinadas a desarrollar funciones específicas en zonas particulares de la corteza cerebral. La segunda es la teoría de la "*proto-corteza*" (O'Leary & Stanfield, 1989), que sostiene que las áreas funcionales surgen de las interacciones con estructuras subcorticales y entre áreas corticales. Revisiones recientes proponen un enfoque alternativo en el que las pautas de la expresión genética crearían áreas corticales más convenientes para adoptar funciones particulares -lo cual se acerca al enfoque *proto-mapa*. Sin embargo, para algunos investigadores el enfoque *proto-corteza* contribuye a explicar mejor el surgimiento de las funciones en áreas pobremente definidas a nivel espacial y funcional.

## 2.2. *Embrainment*

El *embrainment* se refiere a la noción de que las áreas funcionales del cerebro emergen y existen

<sup>7</sup> En el contexto de la neurobiología, se denomina *proceso* a todo evento estructural (e.g., una formación celular especializada, como por ejemplo una neurita que devendrá axón) o funcional (e.g., la diferenciación de una célula madre que lleva a células especializadas como por ejemplo neuronas o astrogliá) (Nota de edición).

<sup>8</sup> Los *canales iónicos* son proteínas de las membranas celulares que contienen poros acuosos que al abrirse permiten el pasaje selectivo de iones específicos. Estos canales se comportan como compuertas que se abren o se cierran en función a la dinámica de interacción de la célula con su medio externo (Nota de edición).

<sup>9</sup> Los *receptores* son proteínas o glicoproteínas presentes en las membranas de células neurales que permiten la interacción de determinadas sustancias (e.g., hormonas y neurotransmisores) con los mecanismos del metabolismo celular (Nota de edición).

<sup>10</sup> Los *neurotransmisores* son moléculas que transmiten información entre células neurales (Nota de edición).

dentro de un contexto de conexiones hacia y desde otras áreas funcionales. Esta idea contrasta con otra respecto del desarrollo funcional del cerebro en la cual se presume que las regiones maduran relativamente aisladas de su contexto; así como también, con otra según la cual es posible localizar las operaciones cognitivas particulares dentro de regiones individuales. En verdad, contamos con evidencia de que las propiedades funcionales de regiones cerebrales específicas están altamente limitadas por sus interacciones –tanto actuales como pretéritas– con otras áreas.

Un ejemplo que ilustra lo anterior proviene de los estudios en los que se utiliza la técnica electroencefalográfica de potenciales evocados (ERP, por su sigla en inglés). En ciertos estudios, los componentes del ERP de participantes congénitamente sordos, difieren notablemente de los componentes que se encuentran en participantes que oyen normalmente y que perdieron la audición luego de cumplir cuatro años de edad (Neville & Lawson, 1987). En base a estos hallazgos, Neville y Lawson (1987) postularon que la pérdida temprana –y no la tardía– de información auditiva, permitiría un reacomodamiento de los recursos tal que las áreas corticales típicamente dedicadas al procesamiento auditivo, habían sido *invadidas* hasta cierto grado por el procesamiento visual. Del mismo modo, se ha demostrado que la corteza visual de personas que habían quedado ciegas desde muy jóvenes, se podía activar mediante estímulos táctiles –en particular, por leer en Braille. En ambos ejemplos, la diferenciación de la corteza en áreas de especialización funcional resulta de un proceso propio del desarrollo que no estaría funcionalmente encapsulado. Si durante el desarrollo cambia el contexto, entonces así también podría hacerlo la función vinculada con el área cortical.

Las preguntas importantes que debemos considerar cuando analizamos la emergencia de las funciones cerebrales, son al menos tres: (1) ¿El desarrollo involucra una epigénesis<sup>11</sup> determinista u

otra probabilista? (Gottlieb, 2007). En cuanto a la determinista, se asume la existencia de un sendero unidireccional entre la función genética y la cerebral<sup>12</sup>. En cuanto a la probabilística, la relación entre genes, estructura y función es bidireccional y dinámica. (2) ¿Existe una asociación directa entre estructura y función? ¿Y tal asociación cambia a medida que el ser humano se desarrolla?; (3) ¿Los diferentes grados de plasticidad cambian a lo largo del desarrollo?

Un importante número de investigaciones dedicadas a generar mapas cerebrales asociados al desarrollo conductual, ha adoptado el punto de vista de la *maduración*, en el cual las conductas emergentes son interpretadas como reflejo de funciones madurativas subyacentes de regiones aisladas del cerebro (Diamond, 1991). Existe una suposición tácita en tal planteo, que propone que el cerebro adulto típico –y por ende, la conducta– está pre-especificado en un *proto-mapa* (i.e., epigénesis determinista) que asocia directamente estructura y función. En el contexto de tal abordaje, la plasticidad constituye un mecanismo especial, activado por algún daño infligido al cerebro. Una alternativa a la perspectiva madurativa es la que podríamos denominar la de la *habilidad para aprender*, que propone una continuidad durante el desarrollo de los mecanismos que subyacen a la adquisición de conocimiento (i.e., aprendizaje) y a la plasticidad cerebral. De acuerdo con tal abordaje, la plasticidad es un rasgo duradero del cerebro que sólo parece reducirse dentro del contexto de las limitaciones estables, más típicas de la adultez.

El punto de vista de la *especialización interactiva* propone una alternativa intermedia entre las dos propuestas anteriores (Johnson, 2005), que consiste en conceptualizar que las regiones cerebrales se

---

procesos embriológicos (Nota de edición).

<sup>12</sup> Tradicionalmente se ha planteado que si el determinismo es verdadero, entonces todo cuanto ocurre es el resultado inevitable del conjunto de las causas que operan en cada momento. En el caso mencionado aquí, se estaría haciendo referencia a una forma de determinismo genético donde se asumiría que la información genética contendría todas las instrucciones para el desarrollo, determinando así –o siendo la causa de– los detalles de la formación de cada célula, tejido y órgano. Estaríamos así frente a un caso de reduccionismo al gen. El objeto reducido (célula, tejido u órgano) depende de algún otro (en este caso el o los genes) con prioridad lógica u ontológica. Se entiende entonces que la adopción de un principio metodológico basado en la reducción al gen podría dar cuenta de la totalidad del organismo en desarrollo y sus propiedades (Nota de edición).

---

<sup>11</sup> La *epigenética* hace referencia al estudio de todos aquellos factores no genéticos que intervienen en la determinación de la ontogenia –es decir, de las interacciones entre genes y ambiente. Dependiendo de la disciplina biológica, el término puede tener distintos significados. Por ejemplo, en genética del desarrollo hace referencia a los mecanismos de regulación genética que no implican cambios en las secuencias de ADN; mientras que en biología del desarrollo refiere a la dependencia contextual de los

desarrollan dentro del contexto de otras (i.e., *embrainment*); y que el desarrollo funcional de tales regiones queda conformado, al menos en parte, por interacciones interregionales. Específicamente, el desarrollo funcional de la corteza cerebral se caracteriza por un proceso de creciente puesta a punto<sup>13</sup>, o selectividad de las funciones. En consecuencia, la asociación espacial entre estructuras y funciones puede cambiar durante el desarrollo. Desde este punto de vista, se retiene la potencialidad de la plasticidad cuando una función no está completamente especializada en un momento determinado del desarrollo.

En síntesis, desde nuestra perspectiva se describe al desarrollo funcional de la corteza cerebral como una especialización interactiva progresiva, en base a mecanismos de *competencia* y *cooperación* entre distintas áreas. Las representaciones que emergen<sup>14</sup> dentro de una región están limitadas por representaciones existentes en áreas funcionalmente vecinas.

### 2.3. Corporización

Si bien la distinción entre mente y mundo físico ha atraído la atención de diferentes investigadores y filósofos, específicamente la labor etológica ha revelado un acoplamiento cercano entre conducta y medio ambiente. En tal contexto de discusión el cerebro está *embebido* en su medio ambiente, en lugar de divorciado de éste. Como sucede en otros niveles de organización, el estudio de un sistema específico debe comprender la consideración de los demás sistemas con los cuales está acoplado. En tal sentido, tratándose del cerebro es importante no ignorar ni al cuerpo ni al ambiente.

Si bien la investigación previa ha establecido la diferencia entre *corporización* -las limitaciones que le impone el cuerpo al cerebro- y contextualización (las limitaciones que el medio ambiente le impone al agente situado en un mundo), en nuestro abordaje proponemos utilizar el término *corporización* para abarcar ambos tipos de interacciones. En tal sentido, proponemos que tomar en cuenta a la *corporización*

de forma relevante puede revelar soluciones más sencillas para los trastornos cognitivos que las que se podrían alcanzar mediante aquellos enfoques *no corporizados* (e.g., Webb, 1994). En efecto, considerar la contribución de ambos -el cuerpo y el medio ambiente, implica reevaluar la contribución específica del sistema nervioso (Clark, 1997). Respecto al abordaje de algunos trastornos cognitivos, parte de la solución es posible encontrarla en las limitaciones corporales y ambientales. Parte del rol del cerebro es coordinar ambos mundos, el interno y el externo (Ballard et al., 1997), por lo que las representaciones neurales no son independientes del medio ambiente, sino que contienen información parcial acerca de este que basta para sostener contextualmente las conductas específicas. Las representaciones contribuyen a generar conductas, mucho más que limitarse a reflejar el medio ambiente.

Clark (1997) identifica diferentes formas mediante las cuales una perspectiva *corporizada* resulta beneficiosa para la investigación cognitiva. En primer lugar, suscita una mayor conciencia acerca de que una función importante para los organismos consiste en aprovechar el medio ambiente (Hutchins, 1995). En segundo lugar, la planificación y ejecución de las acciones motoras debe considerar las interfases e interacciones cuerpo/medio ambiente (Thelen et al., 1996). En tercer lugar, todo abordaje *corporizado* destaca la naturaleza del tiempo real del procesamiento de la información (Goldstein & Gigerenzer, 2002), que cuenta con la heurística de la *dependencia del contexto* para las adaptaciones en tiempo real. En cuarto lugar, la perspectiva *corporizada* reconoce de qué modo los elementos del medio ambiente pueden actuar como extensiones de la mente, disminuyendo la carga cognitiva. En quinto lugar, el lenguaje involucra a los individuos con la sociedad, permitiendo que los individuos compartan representaciones y afecten sus conductas. En síntesis, en términos de desarrollo, el lenguaje ofrece una herramienta crucial para guiar las experiencias de infantes y niños<sup>15</sup> (Rogoff, 1998; Vygotsky, 1986).

<sup>13</sup> *Tuning* en el inglés original (Nota de traducción).

<sup>14</sup> Mahner y Bunge (1997) denominan como *emergente*, a una propiedad de una totalidad (e.g., el cerebro) que no es poseída por ninguno de sus componentes (e.g., las neuronas individuales). En este caso las representaciones son una propiedad emergente del cerebro y no de las neuronas individuales (Nota de edición).

<sup>15</sup> En la literatura anglosajona sobre desarrollo infantil, los niños entre el nacimiento y aproximadamente los 12 meses de edad suelen denominarse *infants*. En consonancia con ello, y dentro del marco académico que caracteriza a esta publicación, se decidió utilizar el vocablo *infantes* en lugar de *bebés*. Asimismo, ello contribuye a evitar el problema que en diferentes países de habla castellana se utilizan distintos términos coloquiales para referirse a esta etapa del desarrollo (Nota de traducción).

Los modelos *corporizados* toman una de dos formas posibles. Una de ellas es denominada *modelo agente*, que propone que tanto el organismo como el medio ambiente son simulaciones computacionales (e.g., Schlesinger, 2004). Tomando otra perspectiva, diferentes investigadores utilizan robots reales que funcionan dentro de ambientes reales. Un ejemplo de este segundo enfoque es el *Didabot* (Maris & te Boekhorst, 1996), que consiste en un robot simple que evita los objetos percibidos por medio de sensores colocados a izquierda y derecha de su parte frontal. Por otra parte, frente a él el robot tiene un punto ciego. En un experimento se colocaron varios *Didabots* en un ambiente cerrado que contenía cubos pequeños en las áreas correspondientes a los puntos ciegos de los robots. A medida que se agregaban, los cubos terminaban apilados en el centro y la periferia del punto ciego. Esta conducta “de ordenamiento”, aparentemente compleja, surgió de un sistema conformado por una mente (un robot que puede generar operaciones para evitar obstáculos), el cuerpo (punto ciego) y el medio ambiente (cubos y otros robots).

La cognición corporizada del desarrollo<sup>16</sup>, toma necesariamente en cuenta los fenómenos de co-desarrollo del sistema nervioso y del cuerpo dentro de un ámbito dinámico –concepto que tiene raíces en la psicología ecológica (e.g., Gibson 1979, 1982). Un concepto clave de las investigaciones en esta área es el de las *posibilidades*, que intenta dar cuenta del hecho de que determinados estímulos se asocian a una gama específica de acciones relacionadas con la estructura y las habilidades del agente. Trabajos recientes realizados durante etapas tempranas del desarrollo (infancia) respaldan la noción de *posibilidades de acción* en términos de la representación de los objetos (Mareschal & Bremner, 2005; Mareschal & Johnson, 2003). Thelen y Smith (1994) habían sostenido que la interacción entre pensamiento y acción es ubicua en la primera infancia –lo cual coincidía con la noción piagetiana (1952) del desarrollo sensorio-motor temprano. Es importante señalar que tal abordaje enfatiza cómo el niño manipula activamente el medio ambiente, con consecuencias dinámicas respecto de los estímulos con los que se encuentra. De modo similar, el inicio de

la locomoción causa un cambio tan extraordinario en el ambiente del infante que puede causar una reorganización significativa de las estructuras cognitivas (Campos et al., 2000).

#### 2.4. Principios, mecanismos y procesos.

Un principio central del enfoque neuroconstructivista es el de la *dependencia del contexto*. A cada nivel de descripción o de análisis, la función de interés depende del contexto dentro del cual ha sido llevada a cabo. Asimismo, la dependencia del contexto es particularmente importante para el *desarrollo* de aquellas funciones y tiene implicaciones importantes para las representaciones que emergen.

La *dependencia del contexto* limita la emergencia representacional mediante tres mecanismos de dominio general, e independientes del nivel de análisis. Esos tres mecanismos son los de *cooperación*, *competencia* y *cronotopía*. La implementación específica de estos mecanismos varía según el nivel de análisis. Asimismo, estos mismos mecanismos dan lugar a dos procesos que subyacen al desarrollo de las representaciones: la *proactividad* y la *especialización progresiva*. El resultado de estos procesos es la emergencia de *representaciones parciales*.

El mecanismo de *competencia* implica que de los diferentes factores iniciales que contribuyen a una función aún inmadura, sólo un subconjunto de ellos terminará involucrado en la función madura. Por ejemplo, la expresión de un gen A puede impedir la expresión de otro gen B. Del mismo modo, las redes neurales con potencialidades inhibitorias limitan a otros procesos competidores su posibilidad de participar en una determinada función. A nivel cognitivo, una representación de información sensorial (e.g., cubo de Necker<sup>17</sup>), puede competir con otra interpretación incompatible de los mismos datos sensoriales. En general, el propósito de la *competencia* radica en contribuir a generar representaciones mínimamente suficientes y estables.

El mecanismo de *cooperación* está comprometido en la integración de múltiples factores que contribuyen a una función. Algunos ejemplos de ello son aquellos genes que actúan como disparadores de

<sup>16</sup> *Developmental embodied cognition* en el original en inglés (Nota de traducción).

<sup>17</sup> El cubo de Necker es una ilusión óptica que genera un efecto en el que cada parte de la imagen es ambigua por sí misma, hasta que el sistema visual selecciona una interpretación posible (Nota de edición).

la expresión de otros genes; la activación integrada de diferentes neuronas que contribuyen a construir circuitos; la acción conjunta de distintos sistemas cerebrales que es condición necesaria para generar una función; o la conducta social que exige cooperación entre individuos. Si bien la *cooperación* es un mecanismo complementario al de *competencia*, a diferencia de ésta contribuye a la eficiencia general mediante la coordinación de funciones interrelacionadas. Es decir que ambas contribuyen a construir un sistema que involucra grados de redundancia tales que lo hacen sólido ante interferencias o daño.

El mecanismo de *cronotopía* se asocia a la noción de que el tiempo es una dimensión significativa del desarrollo (Elman et al., 1996). Como ejemplos, se puede considerar que algunas pautas de expresión genética se restringen a momentos específicos del desarrollo; o que ciertos aspectos clave del desarrollo neural se basan en secuencias de eventos; o que la plasticidad adaptativa ocurre a distintos momentos en diferentes partes del sistema en desarrollo. A nivel cognitivo, esto se podría ilustrar a través de la noción de que los niños suelen resolver en primer término problemas correspondientes a un dominio limitado, antes de poder solucionar problemas abstractos correspondientes a diferentes dominios. Tal vez, el aspecto temporal más importante a considerar concierne a las restricciones que el desarrollo impone a la plasticidad. Una vez que se establecen las conexiones entre circuitos, éstos resultan difíciles de alterar. El compromiso estructural y de procesamiento hace que las funciones se vuelvan progresivamente más arraigadas y selectivas, pudiendo dejar de ser sensibles a nuevas fuentes de información que se encuentran fuera de su rango actual.

Dos procesos de desarrollo operan a una mayor escala temporal que los mecanismos que acabamos de describir. Por una parte, la *proactividad* se refiere a la noción según la cual las representaciones reflejan una actividad generada internamente –al menos parcialmente. Un ejemplo de ello es que la actividad neural espontánea contribuye a formar ciertas conexiones sinápticas. Del mismo modo, los niños inician conductas que tienen efecto sobre el medio ambiente, lo cual a su vez afecta el procesamiento de nueva información sensorial y, por consiguiente, la conducta. En nuestro abordaje, consideramos a este proceso de retroalimentación –con el niño proactivo

involucrándose como factor clave– como el motor del desarrollo. Existe evidencia sustancial de que desde temprano infantes y niños son selectivos respecto a la información que procesan del medio ambiente (Cohen, 1972; Fantz, 1964; Posner, 1993). También existe evidencia que revela la importancia de la actividad motora espontánea en las primeras etapas del desarrollo (Goldfield et al., 1993; Robertson et al., 2001), incluyendo la vida *in utero* (Prechtl, 2001; Robertson, 1988).

El segundo de los procesos de desarrollo es el de la *especialización progresiva*. En su forma más simple, el estado actual del sistema nervioso ejerce influencias sobre sus estados futuros. La metáfora epigenética que postuló Waddington (1957) ilustra adecuadamente tal noción. Según este investigador, el desarrollo es como una pelota rodando por un paisaje despereado, de modo que podría dirigirse a distintos lugares en función de la dirección que tiene, la inercia acumulada y los accidentes del terreno. Todo desarrollo *típico* nos permitiría ver la mayoría de las pelotas terminando su recorrido en el mismo sitio del paisaje; mientras que todo desarrollo *atípico* causaría que las pelotas terminaran en distintos lugares por las fuentes de variación mencionadas. Un ejemplo de ello lo ilustra el desarrollo del procesamiento fonológico. Aun cuando los recién nacidos pueden distinguir los sonidos del habla de todos los lenguajes humanos, la habilidad para discriminar los sonidos que no pertenecen a su habla nativa disminuye sustancialmente después de los seis meses de edad (Stager & Werker, 1997; Trehub, 1976). Un aspecto importante de la *especialización progresiva* es que ésta no se limita simplemente a las adaptaciones futuras sino que también facilita el aprendizaje. Dentro de un ámbito constructivista, muchas veces el conocimiento temprano brinda los “ladrillos” necesarios para “edificar” el conocimiento futuro.

Desde nuestro enfoque, sostenemos que los resultados de los procesos de desarrollo a nivel neural constituyen *representaciones parciales*. Desde esta perspectiva, el cerebro contiene múltiples representaciones fragmentadas y parciales suficientes para asegurar una conducta exitosa en respuesta a determinado objetivo en contextos variables. Lo anterior implica que cada una de estas representaciones parciales puede tener un efecto causal independiente sobre la conducta. Tal noción es



compatible con la del procesamiento distribuido que ocurre en el cerebro y que constituye una solución computacional eficiente para la representación. De esta forma, las nuevas representaciones se adquieren en el contexto de las representaciones existentes (también parciales), el ámbito actual de aprendizaje y el estado actual de desarrollo del cuerpo.

### 3. Estudios de casos

En esta sección se presentan ejemplos de investigación que sirven para ilustrar cómo nuestro enfoque se puede aplicar en distintos dominios. Utilizamos la expresión “estudios de casos” en el sentido amplio de “ilustración focalizada”. Los cuatro primeros casos representan ejemplos concretos de cómo operan los mecanismos. Los últimos tres se refieren a la noción de interacciones entre los distintos niveles de explicación.

#### 3.1. Percepción visual temprana.

En los individuos adultos, el procesamiento de la información visual involucra diferentes áreas corticales (Van Essen et al., 1992). Por ejemplo, durante el reconocimiento de objetos, el procesamiento cortical comienza en el área V1 (corteza visual primaria) y va progresando por una serie de regiones corticales hasta que la identidad del objeto *per se* haya sido procesada por la corteza ínfero-temporal. Esta parte del sistema visual que se vincula con el reconocimiento de objetos se conoce como *vía ventral* (Ungerleiter & Mishkin, 1982). A lo largo de esta vía, un conjunto de áreas están dedicadas a tareas simples tales como la detección de bordes, contrastes y orientación, lo que corresponde a un procesamiento temprano (e.g., Hubel & Wiesel, 1963). Otras áreas se ocupan de los procesamientos más tardíos correspondientes a representaciones progresivamente más abstractas (e.g., identificación de objetos). Ahora bien, la vía ventral no es unidireccional sino que involucra conexiones recíprocas entre distintas regiones (Lamme & Roelfsema, 2000), de manera que procesos ulteriores pueden afectar a los anteriores de tal modo que la dinámica de procesamiento de la información resulta más importante que su localización anatómica específica (Felleman & Van Essen, 1991). En tal contexto dinámico, cada región cortical está involucrada en una red que involucra a otras regiones y otros procesamientos de información.

Dentro de cada región, se verifican mecanismos

de *competencia* entre células, como por ejemplo en el caso de la inhibición. Tal *competencia* ocurre en cada nivel de procesamiento y refleja tanto a los de tipo abajo/arriba como a los de arriba/abajo<sup>18</sup> (Desimone & Duncan, 1995). Asimismo, los mecanismos de *cooperación* constituyen un proceso importante en la visión. Para identificar un objeto, es preciso agrupar rasgos de la información visual correspondiente a ese objeto e ir segmentándolos por contraste con su entorno. Ello se logra mediante un proceso interactivo que incluye conexiones de retroalimentación entre las distintas áreas corticales involucradas en la percepción de objetos (Driver et al., 2001). También está involucrado el mecanismo de *cronotopía*, ya que la funcionalidad del sistema visual emerge a través de un procesamiento que se organiza desde la periferia hacia el centro del sistema, lo cual implica una dinámica temporal variable (Johnson & Vecera, 1996; Shrager & Johnson, 1996). Las neuronas que se desarrollarán luego, en áreas de orden superior –en términos de procesamiento, pueden aprovechar las representaciones parciales más tempranas que se habían desarrollado en regiones periféricas de orden inferior. Las representaciones generadas en cada nivel de organización, limitan el espacio representacional de los niveles siguientes, lo que permite extraer regularidades de orden superior (Clark & Thornton, 1997).

La selectividad del procesamiento inicial de la información visual por parte de las células involucradas en tal función, puede modificarse mediante el aprendizaje (Desimone, 1996). La experiencia lleva a una disminución de la población de células que responden a un patrón de estímulos habitual (Rainer & Nukkerm 2000). De esta manera, los

<sup>18</sup> *Top-down* y *bottom-up* en el inglés original (Nota de traducción). En neurociencia, el mecanismo *top-down* representa a los procesos de selección dirigidos a metas específicas, que implican la activación neural ante información sensorial relevante y la discriminación ante la irrelevante. Este sistema está regulado por las expectativas, las metas y los conocimientos previos del individuo e involucra a una red neural de la que participan diferentes áreas de la corteza prefrontal y parietal. El mecanismo *bottom-up* se asocia a los procesos que intervienen cuando la atención se dirige a un estímulo particular, debido a que sobresalen ciertas características, como por ejemplo su infrecuencia, su novedad, su intensidad o su relevancia en el contexto en que aparece. Este mecanismo involucra a áreas comunes y diferentes (respecto al mecanismo *top-down*) del sistema parietal-frontal. Por último, ambos mecanismos actúan en forma conjunta (Ruiz-Contreras & Cansino, 2005).

cambios en el desempeño reflejan los cambios en las representaciones, distribuidas a lo largo de una población menor de neuronas (Karni et al., 1995). Algunos estudios también verifican que las regiones corticales comprometidas con una tarea pueden cambiar en función de una mayor experticia (Walsh et al., 1998), en la medida en que se haya adquirido el aprendizaje (Petersen et al., 1998). Esta selectividad dependiente de la experiencia, puede mejorar el procesamiento de los subconjuntos de información visual, a expensas de otros subconjuntos. Por ejemplo, el proceso de atención selectiva implementa una forma de *proactividad* a través de la cual los niños atienden preferencialmente a ciertos estímulos en lugar de a otros.

En general, las regiones corticales involucradas en el procesamiento visual conducen a una *competencia* intrarregional contextualizada, y a una *cooperación* interregional modulada por cierto grado de *cronotopía* que obliga a que las representaciones simples se adquieran antes que las progresivamente más complejas. Esta *especialización progresiva*, en cada nivel del procesamiento de la información, refleja una experiencia que es *proactiva*. El resultado es un conjunto de representaciones parciales distribuidas a través de una red compleja de áreas corticales que en conjunto posibilitan el reconocimiento de objetos.

### 3.2. *Habitación durante la infancia*

A causa de la limitación de las habilidades infantiles a nivel perceptual y motor, los investigadores han generado diferentes métodos indirectos para evaluar las habilidades cognitivas de infantes. Uno de los métodos más difundidos es el de la medición del tiempo que los infantes dedican a mirar objetos (e.g., método de Thorpe, 1956). A lo largo de una presentación repetida de series de estímulos, los infantes evidencian una disminución progresiva de su interés. Esta información se interpreta como el logro de la habitación al estímulo. No obstante, los infantes pueden demostrar un interés renovado si se les presentan estímulos novedosos. Tal preferencia por la novedad es un ejemplo de exploración *proactiva* del medio ambiente. Al manipular cuidadosamente de qué modo los estímulos -habituales o novedosos- difieren unos de otros, los investigadores pueden afirmar cuáles son aquellos que los infantes perciben como distintos, lo cual implica a la naturaleza de las

representaciones subyacentes (Cashon & Cohen, 2000). Un enfoque habitual debido a la labor pionera de Sokolov (1963), postula que el infante va generando las representaciones mentales del conjunto habitual de estímulos y que la disminución progresiva del tiempo dedicado a mirarlos refleja la formación creciente de estas en base a la interacción entre las representaciones previas y la información nueva. Es decir que la preferencia por la novedad refleja una tensión entre las representaciones internas y los estímulos novedosos.

De acuerdo al enfoque neuroconstructivista Sirois y Mareschal (2002) han postulado que los modelos y teorías sobre la habitación infantil reflejan dos mecanismos neurales clave. En primer lugar, el hipocampo<sup>19</sup> se involucra en el procesamiento de la inhibición selectiva de rasgos de primer orden propios de los estímulos habituales (e.g., el color o la forma; o bien una relación entre rasgos como por ejemplo color más forma) (Nelson, 1995; Sokolov & Vinogradova, 1975). Este procesamiento inhibitorio es de corta duración; y dado que la habitación tiene efectos duraderos (Zelazo et al., 1991), el segundo mecanismo neural de habitación también involucra al hipocampo aunque a través del almacenamiento a largo plazo, mecanismo en el que está involucrada la corteza entorrinal<sup>20</sup> (Nelson, 1995).

En el modelo de habitación infantil denominado HAB<sup>21</sup> (Sirois & Mareschal, 2004), las funciones corticales e hipocámpicas se implementan a través de redes de auto-asociación (Sirois, 2004). Sin embargo, estas redes utilizan diferentes reglas de aprendizaje para implementar la inhibición selectiva y el almacenamiento a largo plazo. Ambas redes están acopladas mediante conexiones recíprocas y contribuyen a la eficiencia del sistema. Introducir el modelo en un robot con demandas ambientales específicas, ha permitido ilustrar de qué modo el aprendizaje motor contribuye al desempeño por habitación (Sirois, 2005).

El modelo HAB ilustra de dos maneras los principios centrales del enfoque neuroconstructivista.

<sup>19</sup> Estructura cerebral localizada en el lóbulo temporal involucrada en procesos complejos de memoria y aprendizaje (Nota de edición).

<sup>20</sup> La corteza entorrinal está localizada en el lóbulo cerebral temporal medio y participa de una red neural involucrada en procesos de memoria y orientación (Nota de edición).

<sup>21</sup> HAB, sigla en inglés que refiere a *Habituation, Autoassociation* (sic), *Brain* (Nota de traducción).

En primer lugar, el aprendizaje es contextual en la medida en que cada subsistema adquiere aprendizajes dentro de los bucles de retroalimentación que involucran a otros subsistemas –que pueden o no ser antagonistas. En tal sentido, la conducta involucra una combinación de *cooperación* entre subsistemas y de *competencia* (e.g., cuando el hipocampo intenta inhibir señales y otras áreas corticales intentan amplificarlas). También existe evidencia que sugiere el involucramiento de mecanismos de *cronotopía* a partir de la posibilidad que brinda el modelo HAB de capturar cambios en el desempeño relacionados con la edad, es decir mediante la maduración de conexiones corticales (Sirois & Mareschal, 2004). Es decir, el modelo es *proactivo* dado que procura el ingreso de información con máximo valor estimulante (Sirois, 2005); y presenta una *especialización progresiva* a medida que pasa de una preferencia inicial por lo familiar hacia otra por lo novedoso. El resultado es una representación parcial, a medida que se logra la conducta del modelo mediante la actividad de varias unidades interconectadas dentro de dos subsistemas distintos.

### 3.3. Desarrollo fonológico

El balbuceo del infante, es decir la repetición de sonidos simples del habla, crea un acoplamiento entre la percepción y la producción del lenguaje. Esta es una noción relativamente reciente, ya que los trabajos sobre el desarrollo fonológico previos no proponían tal conexión entre balbuceo y habla (Jakobson, 1941; Lenneberg, 1967).

En los primeros años de vida se verifican cambios sustanciales en la percepción de los sonidos propios del habla. Uno de los aspectos que cuenta con gran cantidad de evidencia empírica, es cómo los infantes son capaces de discriminar los sonidos del habla de cualquier lenguaje humano desde muy temprano en el desarrollo (Eimas et al., 1971); y cómo luego pierden progresivamente la capacidad de discriminar fonemas correspondientes a idiomas diferentes al nativo, durante la segunda mitad de su primer año (Werker & Tees, 1984). La importancia del medioambiente lingüístico es confirmada aún más por la evidencia que demuestra que la habilidad de los infantes para discriminar el habla se correlaciona con la claridad con la cual su madre se expresa (Liu et al., 2003).

Se pueden observar los cambios en la producción de los sonidos del habla en las formas de articulación

que expresan los infantes. Antes de los 6 meses, la mayoría de los sonidos del habla consiste en vocales aisladas. Pero alrededor de los 6 meses, la mayoría de los infantes comienzan a balbucear, de manera que la articulación se vuelve cada vez más compleja a lo largo de los próximos meses y el balbuceo se vuelve más específico respecto a la lengua nativa (Boysson-Bardies et al., 1989). Este cambio puede entenderse como un paso clave hacia el desarrollo de un inventario fonológico que primero consta de palabras y más adelante de estructuras lingüísticas más complejas (Vihman, 2002).

El rol central de la percepción auditiva en la producción de balbuceo, ha sido destacado por las investigaciones realizadas en infantes sordos que empiezan a balbucear más tarde que aquellos que oyen y producen sonidos diferentes (Oller & Eilers, 1988). Tales efectos suelen ser duraderos y pueden afectar negativamente la producción ulterior del habla (Wallace et al., 1998). En consecuencia, la retroalimentación auditiva parece ser necesaria para la coordinación adecuada de los sistemas de habla a nivel fonatorio (laringe) y articulatorio (tracto vocal), ambos esenciales para balbucear y más adelante para hablar (Koopmans-van Beinum et al., 2001).

Recientemente, Westerman y Miranda (2004) han propuesto un modelo computacional del desarrollo del vínculo entre percepción y producción del habla. El modelo propone dos mapas topográficos, uno para articulación y otro para percepción. Dentro de esos mapas, las neuronas responden a una entrada de información que corresponde a sus campos respectivos, pero ambos mapas están a la vez conectados con patrones hebbianos<sup>22</sup> de aprendizaje de manera que las unidades con alta covariación entre mapas ven sus conexiones reforzadas, mientras que las conexiones para unidades de baja covariación se debilitaban. En consecuencia, las articulaciones fuertemente covariantes se vuelven prototípicas; y tales prototipos representan vocales que se pueden producir de modo más robusto sobre la base de parámetros articulatorios. En el modelo, los sonidos prototípicos de habla reflejan tanto la actividad generada internamente como la ambiental (ver

<sup>22</sup> La teoría hebbiana propone una explicación para la adaptación de las neuronas durante procesos de aprendizaje, que consiste en un mecanismo básico de plasticidad sináptica en el que un aumento de la eficacia sináptica se debe a la estimulación repetida y persistente de la célula pre-sináptica (Nota de edición).

Vihman, 1991 para una interpretación similar, denominada *hipótesis del filtro articulatorio*).

En el modelo, el contexto se centra en el surgimiento de los prototipos de sonidos del habla en ambos mapas; y las representaciones articulatorias emergen de una interacción dinámica con la percepción. Cada mapa topográfico implementa la *competencia* local mediante un mecanismo de inhibición lateral, pero el acoplamiento entre articulación y percepción requiere la *cooperación* entre ambos mapas. El mecanismo de *cronotopía* es importante ya que ambos mapas requieren sincronización de la plasticidad. Por otra parte, la *proactividad* es vital, ya que el balbuceo produce el acoplamiento entre percepción y producción; y a medida que se desarrolla este acoplamiento, las representaciones vuelven progresivamente al modelo más selectivo respecto de la información ambiental. En infantes en ambientes lingüísticos reales, esto provocaría un desempeño mejorado en el idioma nativo a expensas de las habilidades discriminatorias de otros idiomas (véase también McClelland et al., 2002). Finalmente, esta *especialización progresiva* dentro y entre mapas conduce a representaciones parciales, de manera que los sonidos del habla se convierten en pautas de activación en ambos mapas, por lo cual no pueden funcionar en forma aislada.

#### 3.4. Representaciones de objetos en infantes

Ungerleider y Mishkin (1982) postularon que el procesamiento de objetos involucra dos vías corticales, una dorsal y otra ventral. La vía dorsal –que termina en el lóbulo parietal, estaría involucrada en la localización de objetos (i.e., *dónde*); mientras que la ventral –que termina en la corteza temporal, en la identificación de objetos (i.e., *qué*). Recientemente, el grado de independencia de ambas vías ha recibido nuevamente atención por parte de diferentes investigadores (Fellman & Van Essen, 1991; Humphreys & Riddock, 2003; Merigan & Maunsell, 1993; Puce et al., 1998). En el contexto de este trabajo, nos interesa focalizar la noción de que ambas vías procesan distintos tipos de información y como consecuencia generan diferentes representaciones.

El hecho de que las representaciones de objetos estén segregadas en vías funcionalmente distintas, implica la necesidad de identificar un mecanismo que integre ambas fuentes de información cuando alguna tarea lo exige (e.g., elegir un objeto específico entre varias alternativas posibles). Mareschal y

colaboradores (1999) propusieron un modelo computacional que examina cómo ambos canales de información pueden integrarse gradualmente durante el desarrollo, lo cual contribuiría a explicar por qué el hecho de que un infante recupere exitosamente algún objeto tiene su origen en una búsqueda visual exitosa. Una asunción clave del modelo es que ambas vías (i.e., ventral y dorsal), están expuestas a la misma información inicial, pero difieren en sus mecanismos de aprendizaje asociativo. La red de reconocimiento de objetos (i.e., vía ventral) genera una representación de los objetos espacialmente invariante y utiliza una regla de aprendizaje competitiva, no supervisada (Foldiak, 1991). La red predictiva de localización de objetos (i.e., vía dorsal) utiliza un patrón de alimentación hacia adelante<sup>23</sup>, parcialmente recurrente, para rastrear la posición retinal inmediatamente anticipada de los objetos en movimiento –el cual es un proceso *proactivo*. En el modelo de Mareschal y colaboradores (1999), la red de integración de respuestas representa la medida de las habilidades de los infantes para coordinar y utilizar informaciones respecto de las posiciones e identidades de los objetos, análoga a una función cortical prefrontal similar que se ha observado en los primates (Rao et al., 1997).

Es interesante notar que los infantes muestran algunas conductas inusuales cuando se ocultan los objetos durante breves períodos de tiempo. Por ejemplo, pueden recordar las propiedades espaciales de los objetos escondidos pero no necesariamente identifican sus rasgos (Kaldy & Sigala, 2004; Leslie et al., 1998; Simon et al., 1995; Wilcox & Schweinle, 2002; Xu & Carey, 1996). A los 4 meses y medio de edad, la identificación de objetos se basaría en su forma y tamaño; a los 7 meses y medio, a la textura; y a los 11 meses y medio se agrega el color (Wilcox, 1999). Mareschal y Johnson (2003) han examinado bajo qué condiciones los infantes de 4 meses podían retener la posición o identidad de objetos durante un ocultamiento de cinco segundos. Encontraron que el valor funcional de los objetos –es decir su disponibilidad– parece basarse en una *competencia* entre las vías dorsal y ventral. Los objetos con valor para las acciones serían procesados dorsalmente, mientras que los objetos indiferentes a la acción serían procesados a nivel de la vía ventral.

<sup>23</sup> *Feed-forward* en el inglés original (Nota de traducción).

Este tipo de evidencia enfatiza la naturaleza contextual del procesamiento de los objetos, lo cual implica la integración del niño, su ambiente, la disponibilidad de objetos y las representaciones neuronales funcionalmente distintas. Los mecanismos involucrados en tal proceso de integración involucran a los de *competencia* y *cooperación* a distintos niveles de análisis del sistema de procesamiento en el reconocimiento de objetos. Asimismo, tal sistema evidencia una *especialización progresiva*, dado que cada canal excluye las fuentes de información intrínsecas (i.e., de identidad y espaciales), si alguna de ellas carece de importancia para la realización de la función. Finalmente, el cerebro infantil debe coordinar las representaciones parciales en distintos sistemas para actuar sobre objetos específicos (Mareschal et al., 1999; Rao et al., 1997).

### 3.5. *Ensocialment*<sup>24</sup>

La importancia del contexto social sobre el desarrollo cognitivo tiene una larga historia científica (e.g., Bandura, 1986; Rogoff, 1990; Vygotsky, 1978). En nuestro abordaje neuroconstructivista, focalizamos la noción de que el niño se desarrolla en un ambiente donde hay más personas que se involucran con él de diferentes maneras que brindan nutrición, contención física y moral, y cooperación (Rogoff, 2003). Si bien tales ideas no son nuevas, sólo es en forma reciente que su importancia ha comenzado a ser tratada en neurociencia (e.g., Adolphs, 2003).

Un aspecto de la función social cerebral es la preferencia de los recién nacidos por los estímulos similares a un rostro humano (Johnson et al., 1991; Valenza et al., 1996). A pesar de que las claves específicas que caracterizan a tal la preferencia siguen siendo fuente de debates científicos (e.g., Johnson, 2005), se ha postulado que tres formas de alto contraste en las posiciones de ojos y boca pueden ser suficientes (Johnson & Morton, 1991; Morton & Johnson, 1991). Es decir que desde el nacimiento, el cerebro no contendría la especificación detallada de los rostros sino una representación estructural y parcial. La preferencia por los estímulos similares a un

rostro, vuelve *proactivo* al niño en su búsqueda de estímulos dentro de un contexto de aprendizaje en el que otros sistemas corticales aprehenderán lo relativo a los rostros. En consecuencia, las áreas corticales que se desarrollarán más adelante adquirirán una *especialización* respecto de los rostros (Johnson, 2005). Del mismo modo, las evidencias muestran que los infantes prefieren mirar a rostros que dirigen su mirada directamente a ellos (Farroni et al., 2002). Mantener el contacto visual con una persona asegura la generación de una representación del rostro a nivel de la fóvea<sup>25</sup>, lo cual puede resultar esencial para la emergencia de un área cortical especializada en el procesamiento de información referida a los rostros (Johnson, 2004).

Los niños se benefician del *ensocialment* de otros modos diferentes. Por ejemplo, Vygotsky (1986) ha sido probablemente el primero en reconocer plenamente el rol del lenguaje en la conformación del desarrollo cognitivo. Este investigador postulaba que el cambio cognitivo involucra un desplazamiento desde el habla externa, que le brinda instrucción al niño, hacia el habla propia que le permite mantener un diálogo interno que contribuye a guiar su conducta. En tal sentido, Berk y Gavin (1984) han observado que el habla propia vocalizada en un ámbito grupal, se verifica sólo cuando el niño lidia con una tarea difícil.

Vygotsky (1978) había propuesto además que existe una ventana de estimulación óptima a través de la cual se estimula al propio desarrollo y la adquisición de aprendizajes, a la cual denominó *zona de desarrollo próximo* (ZDP). El niño lo exhibe espontáneamente al evidenciar su preferencia por los estímulos que discrepan moderadamente con sus conocimientos o habilidades habituales (McCall et al., 1977). Enseñar por debajo del nivel de tal ZDP no contribuiría significativamente con el desarrollo y el aprendizaje debido a que ello implicaría un funcionamiento en el contexto de la capacidad actual de comprensión. Del mismo modo, enseñar por encima de la ZDP tampoco brindaría ventajas ya que

<sup>24</sup> El término *ensocialment*, refiere a que el ambiente en el cual un individuo se desarrolla limita las representaciones neurales a través de restricciones físicas y sociales. Si bien el concepto es cercano al de *socialización*, utilizado en disciplinas sociales, en el caso de *ensocialment* resulta crítico la incorporación del nivel de análisis neural. En consecuencia se ha decidido dejar el término en el inglés original (Nota de traducción y edición).

<sup>25</sup> La fóvea es una región de la retina donde los cuerpos celulares de las neuronas retinianas proximales se encuentran desviados hacia la periferia. Como la luz atraviesa normalmente varias capas de neuronas retinianas antes de alcanzar los fotorreceptores, la distribución de neuronas en la fóvea permite que éstos reciban la imagen visual con la menor distorsión posible. Por lo tanto, el ser humano mueve constantemente sus ojos para que las escenas de interés se proyecten en la fóvea.

el niño tendría dificultades para distinguir el camino entre su propio nivel de competencia y el de la enseñanza. En este sentido, Rogoff (1990) propuso la noción de *participación guiada*, en la cual el progreso es óptimo cuando niño y enseñante comparten meta y propósito. En términos pedagógicos, la noción principal que sostiene este abordaje es la de canalizar la interacción del niño con el ambiente (e.g., Csibra & Gergely, 2006).

### 3.6. Desarrollo atípico

En la mayoría de los casos, el resultado del desarrollo es relativamente predecible. Sin embargo es importante plantearse cómo se podría explicar la variabilidad de los resultados del desarrollo. Cierta nivel de variabilidad ha sido observado a nivel de la inteligencia, y mucho más en el caso de los trastornos del desarrollo que pueden asociarse a diferentes causas. Los trastornos del desarrollo pueden surgir de anormalidades genéticas, como en los síndromes de Down, de Williams y X frágil. Asimismo, se los puede identificar a nivel conductual como en los casos del autismo, el deterioro específico del lenguaje (TEL), el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) y la dislexia. En estos últimos casos, se sospecha de cierta influencia genética ya que esos estados pueden verificarse en los antecedentes familiares; aunque la base genética aún no se comprende de manera cabal. Finalmente, los trastornos del desarrollo pueden haber sido causados por ambientes atípicos (e.g., ingesta de drogas durante el embarazo, deprivación, abuso). Asimismo, algunos trastornos del desarrollo pueden evidenciar ciertos perfiles cognitivos muy irregulares. Por ejemplo, pueden verificarse dificultades específicas de lenguaje pero sin involucramiento de redes neurales típicamente asociadas al procesamiento del lenguaje (e.g., TEL). Finalmente, ciertas habilidades pueden apreciarse como relativamente vigorosas por contraste con un cociente intelectual bajo (e.g., reconocimiento de caras en el síndrome de Williams). En síntesis, resulta complejo explicar perfiles tan desparejos.

Cuando en adultos con desarrollo típico pero que han sufrido algún tipo de daño cerebral se observan perfiles cognitivos desparejos, el recurso al que habitualmente se apela consiste en inferir que ciertas partes de la estructura cognitiva adulta han sufrido alguna clase de daño. Algunos investigadores han intentado aplicar este marco explicativo a los

trastornos del desarrollo, infiriendo que ciertos componentes cognitivos aislados no se han desarrollado, mientras que el resto de los sistemas cognitivos lo han hecho normalmente [e.g., un módulo de la teoría de la mente en el autismo (Baron-Cohen, 1999; Baron-Cohen et al., 1993); o un módulo de sintaxis en el TEL (Van der Lely, 1997)]. Cuando el trastorno tiene una base genética, se asume que los perfiles cognitivos desparejos son evidencia de vínculos directos entre genes y determinados mecanismos cognitivos. Sin embargo, resulta problemático explicar los déficits del desarrollo tomando como referencia el sistema cognitivo típico del adulto. Por una parte, si bien la estructura adulta típica no ha sido pre-especificada, sigue siendo un producto del desarrollo. Por otra parte, las analogías entre los trastornos del desarrollo y el daño cerebral adulto, genera nociones sobre el desarrollo que en realidad no tienen que ver con él. En contraste, las evidencias empíricas respaldan el papel del desarrollo en la producción de perfiles cognitivos atípicos. Paterson y colaboradores (1999) exploraron las habilidades para el lenguaje y la aritmética en niños con síndrome de Down y de Williams, y encontraron un patrón relativo distinto del que se observa en los adultos con los mismos trastornos (i.e., en la infancia temprana, el perfil no era una versión miniaturizada del perfil adulto).

En la actualidad, aun no se comprende adecuadamente la influencia de las mutaciones y variaciones genéticas sobre el desarrollo del cerebro. Evidencia reciente sugiere que los efectos genéticos son difusos, graduales y no han sido vinculados al desarrollo de redes neurales asociadas a las funciones cognitivas especializadas típicas de los adultos. Por ejemplo, a la familia británica K.E. se la identificó como poseedora de un déficit específico del habla y del lenguaje causado por la mutación de un solo gen (i.e., FOXP2). Sin embargo, investigaciones ulteriores revelaron que existían extensas diferencias cerebrales, tanto estructurales como funcionales, en integrantes de familias que tenían esa mutación; mientras que los déficits cognitivos se extendían fuera del dominio del lenguaje para afectar negativamente el rendimiento en tareas asociativas de aprendizaje no verbal (Watkins et al., 2002a,b). Al comparar diferentes síndromes genéticos, Kaufann y Moser (2000) confirmaron que los efectos difusos sobre el desarrollo cerebral eran la norma.

El enfoque neuroconstructivista coloca el proceso de desarrollo en el centro de las explicaciones de los trastornos del desarrollo (Karmiloff-Smith, 1998a). Empíricamente, el marco alienta a los investigadores a enfocarse en las trayectorias del desarrollo en lugar de concentrarse en un momento específico. Teóricamente, los trastornos del desarrollo se ven como ejemplos de trayectorias atípicas. El sistema atípico sigue siendo adaptativo, pero sin embargo puede no poseer los límites de las operaciones neurales apropiadas para adquirir un dominio. En algunas circunstancias, conductas aparentemente típicas pueden haber sido generadas por procesos atípicos subyacentes (e.g., Deruelle et al., 1999; y Karmiloff-Smith et al., 2004 acerca del reconocimiento de rostros en el síndrome de Williams). En otros casos, las limitaciones atípicas pueden provocar en un dominio específico un desempeño mejor que el típico, como es el caso de ciertos aspectos de la percepción en el autismo. En términos de la metáfora de Waddington (1957), se verifican cambios en el "paisaje" epigenético.

Varias de las ideas fundamentales del neuroconstructivismo se afirman mediante el estudio del desarrollo atípico. Por ejemplo, en algunos casos la *especialización interactiva* de las áreas corticales resulta atípica. Adultos diagnosticados con el síndrome de Williams demuestran tener habilidades de reconocimiento de rostros dentro del rango normal, pero el análisis con ERP revela una reducción de la especialización y la localización de la actividad neural (e.g., Grice et al., 2001). Los datos de neuroimágenes sugieren diferencias en las limitaciones de la *cronotopía* en términos de cambios en la conectividad y la plasticidad asociada, a lo largo del tiempo, en el caso de trastornos tales como el autismo y el síndrome de Down (e.g., Becker et al., 1986; Chugani et al., 1999).

Se ha propuesto que las diferencias de codificación de la información tienen un efecto de cascada sobre el contexto en el cual se adquieren otras habilidades cognitivas (e.g., autismo, TEL y dislexia). Las alteraciones en el nivel de abstracción que se logra al formar representaciones internas, o en las dimensiones de similitud que tales representaciones codifican, pueden desempeñar un rol material en la habilidad de otros sistemas cerebrales para utilizar esas informaciones en otros procesos. Es posible que en el autismo, el TEL y la

dislexia, la consecuencia de una estructura atípica de similitud en las representaciones de entrada, genere como resultado un déficit de procesamiento mucho más alto en la jerarquía de los sistemas representacionales. Las diferencias en la corporización también pueden tener un impacto sobre la trayectoria del desarrollo. Por ejemplo, Sieratzki y Woll (1998) han propuesto que en los niños con atrofia muscular espinal -un trastorno que reduce la movilidad temprana, el desarrollo del lenguaje se puede acelerar como mecanismo de compensación, lo cual se asocia en parte a un incremento del esfuerzo de control por parte del niño de su medio ambiente. En este último caso, el niño con desarrollo atípico construye un ámbito social atípico respecto de las expectativas y reacciones de sus padres y pares, influyendo en su propio desarrollo.

Por supuesto, cuando insistimos en considerar al desarrollo típico y atípico como trayectorias, se vuelve cada vez más importante especificar en qué se diferencian en términos de límites y mecanismos de cambio. En este contexto, el abordaje de los modelos computacionales ha contribuido con el progreso del estudio del desarrollo atípico (e.g., Triesch et al., 2006 respecto a los trastornos de la percepción visual en infantes; y Thomas & Karmiloff-Smith, 2003 respecto a los trastornos de lenguaje).

### 3.7. *Dislexia*

La lectura es una adquisición humana relativamente reciente -en términos históricos es un evento de hace pocos miles de años. Es altamente improbable que la evolución haya producido limitaciones específicas en los sistemas cognitivos involucrados (McCandliss et al., 2003). En consecuencia, la existencia de un sistema especializado de lectura en el cerebro debe representar la adaptación de funciones más generales, destinadas a reflejar las demandas ambientales específicas de las culturas que alientan la experticia en este campo.

Las neuroimágenes sugieren que la lectura recluta hasta una docena de diferentes áreas del cerebro (Dehaene, 2003). Un área en particular, el área de la *forma visual de la palabra* evidencia niveles comparablemente altos de actividad respecto de palabras y pseudo-palabras, en comparación con símbolos; lo cual sugiere la existencia de un área especializada dedicada al procesamiento de estímulos visuales que parecen palabras, antes de establecer si

tienen sentido o no (Dehaene et al., 2002; Posner et al., 1988). La ubicación de esta área es relativamente constante a través de diferentes individuos y lenguajes –lo cual incluye a los sistemas de escritura. Dado que esta especialización no puede haber sido seleccionada por la evolución, es posible que haya capitalizado propiedades computacionales para procesar palabras, es decir la discriminación a nivel de la fóvea y el reconocimiento invariante de letras y de estímulos similares (McCandliss et al., 2003).

La emergencia de la lectura requiere que se establezca una asociación entre las discriminaciones fonológicas del niño que todavía no escribe y las letras o grupos de letras que tiene que aprender. Es decir, el niño debe aprender la relación entre los grafemas (nuevos) y los fonemas (viejos). Algunas lenguas, como por ejemplo el inglés y el francés, tienen asociaciones inconsistentes entre grafemas y fonemas (e.g., la “i” en inglés puede sonar como “i” en la palabra “bit”, pero como “ay” en la palabra “bite”). Comparada con lenguas cuyas asociaciones son consistentes (e.g., italiano y castellano), las asociaciones inconsistentes pueden tardar más tiempo en establecer una buena decodificación grafema-fonema (Goswami, 2002, 2003).

Las dificultades de lectura en la lengua inglesa, afectan a entre 5% y 17% de los niños en edad escolar (Shaywitz & Shaywitz, 1994). Se han propuesto dos subtipos principales en la dislexia del desarrollo (Castles & Coltheart, 1993; Manis et al., 1996). La *dislexia fonológica del desarrollo* involucra a la dificultad para leer palabras nuevas o pseudo-palabras; mientras que la *dislexia superficial del desarrollo*, describe la dificultad para leer palabras irregulares cuya pronunciación no se puede predecir sobre la base del sonido de las letras individuales. Por ejemplo, la palabra inglesa “aisle” se pronuncia “eil”; mientras que “yacht” se pronuncia “iót”.

Estudios con gemelos han sugerido una contribución genética significativa para la dislexia del desarrollo (Pennington, 1999; Plomin & Dale, 2000; Plomin & Rutter, 1998). Sin embargo, es muy poco probable que haya una contribución directa de los genes en la función cognitiva. Por lo tanto, ante una eventual etiología genética de este tipo de trastorno disléxico, antes de realizar un diagnóstico es necesario esperar a observar efectos más difundidos que la dislexia por sí sola. Aun cuando no existe consenso ni variabilidad sustancial en la literatura

científica –especialmente respecto de la *dislexia superficial del desarrollo*, se han observado déficits cognitivos concurrentes en personas aquejadas de dislexia, lo cual sugiere un síndrome más general (Stein & Walsh, 1997).

La mayoría de los modelos computacionales que abordan cuestiones inherentes al desarrollo típico y atípico de la lectura, asumen que el problema de dominio supone aprender a establecer las asociaciones entre los diferentes códigos de representación para palabras escritas, palabras pronunciadas y sentido de las palabras (e.g., Harm & Seidenberg, 2004; Plaut et al., 1996; Seidenberg & McClelland, 1989). La *dislexia superficial del desarrollo* ha sido simulada al alterar los límites computacionales iniciales, de modo que se reduce la capacidad del sistema para aprender las asociaciones entre ortografía y fonología. La *dislexia fonológica* ha sido simulada de dos maneras principales. El primer método consiste en degradar las propiedades de las representaciones fonológicas (e.g., Harm & Seidenberg, 2004). El segundo método degrada la habilidad del sistema para aprender el aspecto funcional que vincula ortografía con fonología. Es notable en este último caso, que manipulaciones similares puedan producir síntomas de dislexia, tanto superficial como fonológica, porque muchas personas con dislexia muestran también síntomas de ambos tipos (Manis et al., 1996).

La dislexia del desarrollo también es útil para ilustrar los principios del neuroconstructivismo, dado que la lectura es una especialización de un sistema más general que refleja el contexto de un ámbito particular. En el desarrollo típico, la lectura involucra interacciones dinámicas entre múltiples funciones dotadas de propiedades computacionales convenientes. Las representaciones parciales interactúan durante el desarrollo, como lo sugiere la reestructuración de la fonología, cuando se aprende a asociar grafemas. En la dislexia del desarrollo, los agrupamientos heterogéneos de dificultades reflejan los distintos modos mediante los cuales se pueden interrumpir las asociaciones entre fonología, ortografía y semántica. Esto se relaciona a la vez con la probabilidad de una etiología genética incapaz de interrumpir selectivamente una función que la evolución no podría haber elegido en primer lugar. En síntesis, se espera que las anomalías genéticas muestren efectos más generales y difusos, con



consecuencias diferenciales, más que específicas, en dominios particulares.

#### 4. Conclusiones

El marco conceptual de nuestro trabajo tiene múltiples implicancias para las teorías del desarrollo humano. Una de las principales es que nuestra proposición de isomorfismo de niveles múltiples representa el rechazo radical de lo que propone Marr (1982): la cognición no se puede estudiar independientemente del cerebro y del cuerpo. Otra implicancia importante es el papel central de las trayectorias del desarrollo en la interpretación de la cognición adulta. En tal sentido, no habría teleología<sup>26</sup> involucrada en el desarrollo, ya que la cognición madura y normativa es un resultado del desarrollo y no una meta pre-especificada (Thomas & Karmiloff-Smith, 2003).

Asimismo, hemos sostenido que las regiones cerebrales no utilizan representaciones completas. Como soporte de esta propuesta, hemos expuesto primero cómo una señal particular de entrada es típicamente procesada por separado a lo largo de distintas dimensiones (e.g., procesamiento perceptual de los atributos color y movimiento de un objeto). En segundo lugar, los sistemas funcionales del cerebro están interrelacionados con otros sistemas funcionales y situados dentro del cuerpo y en un ambiente. Todos estos contextos ofrecen distintos niveles y fuentes de información tales que sólo unos fragmentos de información necesitan ser representados. Asimismo, otra implicancia es que la cognición tendría carácter modular y sistémico sólo si el contexto lo permite (e.g. Fodor, 1975; Fodor & Pylyshyn, 1988).

La especialización progresiva y las nociones de la modularidad emergente (e.g., Karmiloff-Smith, 1998a) implican que la arquitectura cognitiva exhibirá una progresiva falta de flexibilidad ante la novedad durante el desarrollo. Esto se puede observar cuando los sistemas especializados emergentes poseen funciones bien delineadas (Johnson & Munakata, 2005). Estos sistemas especializados no deben interpretarse como una mera impronta producida por presiones y regularidades ambientales. Desde su nacimiento, el niño contribuye activamente con su

propio desarrollo (Robertson et al., 2004). Nuestra insistencia respecto de la dependencia del contexto debe entenderse como la imposibilidad de formular declaraciones de tipo general acerca de la cognición. Por el contrario, sostenemos que la clave para entender la función contextualizada radica en identificar aquellos contextos que son centrales para la función de interés; mientras que pasamos por alto aquellos contextos que pudieran tener un rol periférico al momento de determinarla.

En nuestro libro (Mareschal et al., 2007a,b), un tema recurrente es la necesidad de contar con teorías causales que postulen qué hace emerger a las conductas complejas. Esas teorías necesitan explicar conductas en múltiples escalas de tiempo. Específicamente, deben intentar explicar cómo y por qué las conductas se despliegan tal como las observamos en tiempo real, así también cómo lo hacen durante el desarrollo. Para lograr esto, necesitamos más que una simple aunque muy detallada descripción de las conductas que se pueden observar en cierto momento del desarrollo. Por supuesto, tales descripciones son esenciales para el avance en la construcción de teorías que den cuenta de mecanismos causales; pero no resultan satisfactorias porque no son capaces de explicar o predecir nuevas conductas. El ejemplo más claro que ilustra lo anterior es la conducta de niños que padecen trastornos del desarrollo. Salvo que se tenga a disposición una teoría mecanicista que permita explicar qué factor hace que emerjan ciertas conductas -así como también una teoría causal que explique qué es lo atípico de los procesamientos específicos, es imposible explicar o predecir por qué un conjunto de niños con desarrollo atípico pueden evidenciar un retraso en cierta conducta pero pueden sobresalir en otra; mientras otro conjunto de niños con desarrollo atípico tendrán éxito con la primera conducta y retraso en la segunda.

En el primer volumen sobre neuroconstructivismo (Mareschal et al., 2007a), nos hemos propuesto investigar cómo las representaciones que sustentan la cognición emergen en el cerebro durante el desarrollo. Hemos sostenido que la emergencia de tales representaciones es el resultado de un proceso constructivista que involucra limitaciones que operan en diferentes niveles de organización, desde el celular hasta el social. Para tal fin es necesario revisar

<sup>26</sup>La palabra griega *télos* hace referencia a un fin. Para el neuroconstructivismo entonces el desarrollo no involucra un fin (Nota de edición).

nuestras teorías respecto de sus limitaciones para integrar cerebro, cuerpo y medio ambiente.

En el segundo volumen sobre neuroconstructivismo (Mareschal et al., 2007b), hemos invitado a nueve laboratorios de investigación que sostienen en sus agendas objetivos coherentes con el enfoque neuroconstructivista, para que presenten sus trabajos en el contexto de los modelos computacionales. Las preguntas por las cuales los modelos han sido elaborados difieren tanto en el nivel de descripción como en la escala temporal en la cual las conductas correspondientes operan. Algunos modelos se enfocan en el estudio de la adaptación relativamente rápida que ocurriría a nivel de análisis celular; mientras que otros modelos se enfocan en la adaptación relativamente lenta que ocurre a nivel de análisis cognitivo. Específicamente, les hemos solicitado a todos los investigadores que focalizaran sus esfuerzos en el análisis de las limitaciones funcionales a nivel neural, de los mecanismos de *corporización* y de la modulación del contexto, en el desarrollo representacional. Asimismo, dado que los modelos computacionales son herramientas destinadas a ayudarnos a reflexionar acerca de procesos y mecanismos, también les hemos solicitado que abordaran la discusión de cómo los modelos incluyen a este tipo de limitaciones, así como también sus posibilidades concretas de predicción.

## Referencias

- Adolphs, R. (2003). Cognitive Neuroscience of Human Social Behavior. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 165–178.
- Armstrong, R. C., & Montminy, M. R. (1993). Transsynaptic control of gene expression. *Annual Review Neuroscience*, 16, 17–29.
- Ballard, D. H., Hayhoe, M. M., Pook, P. K., & Rao, R. P. N. (1997). Deictic codes for the embodiment of cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 20, 723–767.
- Bandura, A. (1986). *The social foundations of thought and action*. Prentice-Hall.
- Baron-Cohen, S. (1999). Does the study of autism justify minimalist innate modularity? *Learning and Individual Differences*, 10, 179–191.
- Baron-Cohen, S., Tager-Flusberg, H. & Cohen, H. J., eds. (1993). *Understanding other minds: Perspectives from autism*. Oxford University Press.
- Becker, L. E., Armstrong, D. L., & Chan, F. (1986). Dendritic atrophy in children with Down's syndrome. *Annals of Neurology*, 20, 520–526.
- Berk, L., & Gavin, R. (1984). Development of private speech among low-income Appalachian children. *Developmental Psychology*, 20, 271–286.
- Boysson-Bardies, B., Halle, P., Sagart, L., & Durand, C. (1989). A cross-linguistic investigation of vowel formants in babbling. *Journal of Child Language*, 16, 1–17.
- Campos, J. J., Anderson, D. I., Barbu-Roth, M. A., Hubbard, E. M., Hertenstein, M. J., & Witherington, D. (2000). Travel broadens the mind. *Infancy*, 1, 149–219.
- Cashon, C. H., & Cohen, L. B. (2000). Eight-month-old infants' perceptions of possible and impossible events. *Infancy*, 1, 429–446.
- Castles, A., & Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47, 149–180.
- Chugani, D. C., Muzik, O., Behen, M., Rothermel, R., Janissee, J. J., Lee, J., & Chugani, H. T. (1999). Developmental changes in serotonin synthesis capacity in autistic and non-autistic children. *Annals of Neurology*, 45, 287–295.
- Clark, A. (1997). *Being There*. MIT Press.
- Clark, A., & Thornton, C. (1997). Trading spaces: Computation, representation and the limits of uninformed learning. *Behavioral and Brain Sciences*, 20, 57–66.
- Cohen, L. B. (1972). Attention-getting and attention-holding process of infant visual preferences. *Child Development*, 43, 869–879.
- Crowley, J. C., & Katz, L. C. (1999). Development of ocular dominance columns in the absence of retinal input. *Nature Neuroscience*, 2, 1125–1130.
- Csibra, G., & Gergely, G. (2006). Social learning and social cognition: The case for pedagogy. In: *Processes of Change in Brain and Cognitive Development. Attention and Performance XXI*, ed. M. H. Johnson & Y. Munakata. Oxford University Press.
- Dehaene, S. (2003). Natural born readers. *New Scientist*, 2402, 30–33.
- Dehaene, S., Le Clec, H., Poline, J. P., Le Bihan, D., & Cohen, L. (2002). The visual word form area: A prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus. *NeuroReport*, 13, 321–25.
- Deruelle, C., Mancini, J., Livet, M. O., Casse-Perrot, C., & de Schonen, S. (1999). Configural and local processing of faces in children with Williams syndrome. *Brain and Cognition*, 41, 276–98.
- Desimone, R. (1996). Neural mechanisms for visual memory and their role in attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 93, 13494–13499.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193–222.
- Diamond, A. (1991). Frontal lobe involvement in cognitive changes during the first year of life. In: *Brain maturation and cognitive development: A comparative and cross-cultural perspective*, ed. K. R. Gibson & A. C. Petersen, pp. 127–180.
- Driver, J., Davis, G., Russell, C., Turatto, M., & Freeman, E.

- (2001). Segmentation, attention and phenomenal visual objects. *Cognition*, 80, 61–95.
- Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P., & Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science*, 171, 303–306.
- Elman, J., Bates, E., Johnson, M. H., Karmiloff-Smith, A., Parisi, D., & Plunkett, K. (1996). *Rethinking innateness: A connectionist perspective on development*. MIT Press.
- Fantz, R. L. (1964). Visual experience in infants: Decreased attention to familiar patterns relative to novel ones. *Science*, 146, 668–670.
- Farroni, T., Csibra, G., Simion, F., & Johnson, M. H. (2002). Eye contact detection in humans from birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 9602–9605.
- Felleman, D. J., & Van Essen, D. C. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex*, 1, 1–47.
- Fodor, J. A. (1975). *The language of thought*. Harvard University Press.
- Fodor, J. A., & Pylyshyn, Z. (1988). Connectionism and cognitive architecture: A critique. *Cognition*, 28, 3–71.
- Foldiak, P. (1991). Learning invariance from transformation sequences. *Neural Computation*, 3, 194–200.
- Ghosh, A., Carnahan, J., & Greenberg, M. E. (1994). Requirement for BDNF in activity-dependent survival of cortical neurons. *Science*, 263, 1618–1623.
- Gibson, E. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Houghton Mifflin.
- Gibson, E. J. (1982). The concept of affordances in development: The renaissance of functionalism. In: *The concept of development. The Minnesota Symposia On Child Psychology*, ed. W. A. Collins, pp. 55–82. Erlbaum.
- Goldfield, E. C., Kay, B., & Warren, W. (1993). Infant bouncing: The assembly and tuning of an action system. *Child Development*, 64, 1128–1142.
- Goldstein, D. G., & Gigerenzer, G. (2002). Models of ecological rationality: The recognition heuristic. *Psychological Review*, 109, 75–90.
- Goodman, C. S., & Shatz, C. J. (1993). Developmental mechanisms that generate precise patterns of neuronal connectivity. *Cell*, 72, 77–98.
- Goswami, U. (2002). Phonology, reading development and dyslexia: A crosslinguistic perspective. *Annals of Dyslexia*, 52, 1–23.
- Goswami, U. (2003). Phonology, learning to read and dyslexia: A cross-linguistic analysis. In: *Dyslexia: Different brain, different behavior*, ed. V. Csepe, pp. 1–40. Kluwer Academic.
- Gottlieb, G. (2007). Probabilistic epigenesis. *Developmental Science*, 10, 1–11.
- Grice, S., Spratling, M. W., Karmiloff-Smith, A., Halit, H., Csibra, G., de Haan, M., & Johnson, M. H. (2001). Disorders visual processing and oscillatory brain activity in autism and Williams syndrome. *NeuroReport*, 12, 2697–2700.
- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the meaning of words in reading: Cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review*, 111, 662–720.
- Herrmann, K., & Shatz, C. J. (1995). Blockade of action potential activity alters initial arborization of thalamic axons within layer 4. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92, 11244–11248.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1963). Shape and arrangement of columns in cat's striate cortex. *Journal of Physiology*, 165, 559–568.
- Humphreys, G. W. & Riddoch, M. (2003). From what to where. *Psychological Science*, 14, 487–492.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the wild*. MIT Press.
- Jakobson, R. (1941). *Child language, aphasia and phonological universals*. Mouton. (English translation by A. R. Keiler, 1968.)
- Johnson, M. H. & Munakata, Y. (2005). Processes of change in brain and cognitive development. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 152–158.
- Johnson, M. H. (2004). Plasticity and functional brain development: The case of face processing. In: *Attention & Performance XX: Functional neuroimaging of visual cognition*, ed. N. Kanwisher & J. Duncan, pp. 257–263: Oxford University Press.
- Johnson, M. H. (2005). *Developmental cognitive neuroscience*, 2nd edition. Blackwell.
- Johnson, M. H., & Morton, J. (1991). *Biology and Cognitive Development: The Case of Face Recognition*. Blackwell.
- Johnson, M. H., & Vecera, S. P. (1996). Cortical differentiation and neurocognitive development: The parcellation conjecture. *Behavioural Processes*, 36, 195–212.
- Johnson, M. H., Dziurawiec, S., Ellis, H. D., & Morton, J. (1991). Newborns preferential tracking of face-like stimuli and its subsequent decline. *Cognition*, 40, 1–19.
- Kaldy, Z., & Sigala, N. (2004). The neural mechanisms of object working memory: What is where in the infant brain? *Neuroscience and Biobehavioural Reviews*, 28, 113–121.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science*. MIT Press.
- Karmiloff-Smith, A. (1998a). Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 389–398.
- Karmiloff-Smith, A., Thomas, M. S. C., Annaz, D., Humphreys, K., Ewing, S., Grice, S., Brace, N., Van Duuren, M., Pike, G., & Campbell, R. (2004). Exploring the Williams syndrome face processing debate: The importance of building developmental trajectories. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 45, 1258–1274.
- Karni, A., Meyer, G., Jezard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1995). Functional MRI evidence for

- adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature*, 377, 155–158.
- Kaufmann, W. E., & Moser, H. W. (2000). Dendritic anomalies in disorders associated with mental retardation. *Cerebral Cortex*, 10, 981–991.
- Koopmans-van Beinum, F. J., Clement, C. J., & van den Dikkenberg-Pot, I. (2001). Babbling and the lack of auditory speech perception: A matter of coordination? *Developmental Science*, 4, 61–70.
- Lamme, V. A. F., & Roelfsema, P. R. (2000). The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends in Neurosciences*, 23, 571–579.
- Lenneberg, E. (1967). *Biological foundations of language*. Wiley.
- Leslie, A., Xu, F., Tremoulet, P., & Scholl, B. (1998). Indexing and the object concept: “What” and “where” systems in infancy. *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 10–18.
- Liu, H. M., Kuhl, P., & Tsao, F. M. (2003). An association between mothers’ speech clarity and infants’ speech discrimination skills. *Developmental Science*, 6, F1–F10.
- Mahner, M., & Bunge, M. (1997). Fundamentos ontológicos. En *Fundamentos de biofilosofía* ed. M. Moldes, pp. 124–156. Siglo XXI.
- Manis, F. R., Seidenberg, M. S., Doi, L. M., McBride-Chang, C., & Petersen, A. (1996). On the bases of two subtypes of developmental dyslexia. *Cognition*, 58, 157–195.
- Mareschal, D., & Bremner A. J. (2005). When do 4-month-olds remember the “what” and “where” of hidden objects? In: *Attention & performance XXI: Processes of change in brain and cognitive development*, ed. M. H. Johnson & Y. Munakata, pp. 427–447. Oxford University Press.
- Mareschal, D., & Johnson, M. H. (2003). The “what” and “where” of infant object representations. *Cognition*, 88, 259–276.
- Mareschal, D., & Shultz, T. R. (1996). Generative connectionist architectures and constructivist cognitive development. *Cognitive Development*, 11, 571–605.
- Mareschal, D., Johnson, M. H., Sirois, S., Spratling, M., Thomas, M., & Westermann, G. (2007a). *Neuroconstructivism, vol. I: How the brain constructs cognition*. Oxford University Press.
- Mareschal, D., Plunkett, K., & Harris, P. (1999). A computational and neuropsychological account of object-oriented behaviours in infancy. *Developmental Science*, 2, 306–317.
- Mareschal, D., Sirois, S., Westermann, G., & Johnson, M. H. (2007b). *Neuroconstructivism, vol. II: Perspectives and prospects*. Oxford University Press.
- Maris, M., & Boekhorst, R. (1996). Exploiting physical constraints: heap formation through behavioural error in a group of robots. In: *Proceedings of the IROS '96, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. November 4–8, Osaka, Japan.
- Marr, D. (1982). *Vision*. W. Freeman.
- McCall, R. B., Kennedy, C. B., & Applebaum, M. I. (1977). Magnitude of discrepancy and the distribution of attention in infants. *Child Development*, 48, 772–786.
- McCandliss, B. D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: Expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 293–299.
- McClelland, J. L., Fieza, J. A., & McCandliss, B. D. (2002). Teaching the /r-/l/ discrimination to Japanese adults: Behavioral and neural aspects. *Physiology & Behavior*, 77, 657–662.
- Merigan, W. H., & Maunsell, J. H. R. (1993). How parallel are the primate visual pathways. *Annual Review of Neuroscience*, 16, 369–402.
- Morton, J., & Johnson, M. H. (1991). CONSPEC and CONLERN: A two-process theory of infant face recognition. *Psychological Review*, 98, 164–181.
- Nelson, C. A. (1995). The ontogeny of human memory: A cognitive neuroscience perspective. *Developmental Psychology*, 31, 723–738.
- Neville, H. J., & Lawson, D. (1987). Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task: An event-related potential and behavioral study. II. Congenitally deaf adults. *Brain Research*, 405, 268–283.
- O’Leary, D. D. M., & Stanfield, B. B. (1989). Selective elimination of axons extended by developing cortical neurons is dependent on regional locale: Experiments utilizing fetal cortical transplants. *Journal of Neuroscience*, 9, 2230–2246.
- Oller, D. K., & Eilers, R. E. (1988). The role of audition in infant babbling. *Child Development*, 59, 441–449.
- Oppenheim, R. W. (1991). Cell death during development of the nervous system. *Annual Review Neuroscience*, 14, 453–501.
- Paterson, S. J., Brown, J. H., Gsödl, M. K., Johnson, M. H., & Karmiloff-Smith, A. (1999). Cognitive modularity and genetic disorders. *Science*, 286, 2355–2358.
- Pennington, B. F. (1999). Dyslexia as a neurodevelopmental disorder. In: *Neurodevelopmental disorders*, ed. H. Tager-Flusberg, pp. 307–30. MIT Press.
- Petersen, S. E., Van Mier, H., Fiez, J. A., & Raichle, M. E. (1998). The effects of practice on the functional anatomy of task performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 853–860.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in the child*. International Universities Press.
- Piaget, J. (1970). *Genetic epistemology*. Columbia University Press.
- Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S., & Patterson, K. (1996). Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*, 103, 56–115.
- Plomin, R., & Rutter, M. (1998). Child development,

- molecular genetics, and what to do with genes once they are found. *Child Development*, 69, 1221–1240.
- Plomin, R. & Dale, P. S. (2000). Genetics and early language development: A U. K. study of twins. In: *Speech and language impairments in children: Causes, characteristics, intervention and outcome*, ed. D. V. M. Bishop & L. B. Leonard, pp. 35–51. Psychology Press.
- Posner, M. I. (1993). Attention before and during the decade of the brain. In: *Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience: vol. XIV, Attention and performance*, ed. D. Meyers & S. Kornblum, pp. 343–350. MIT Press.
- Posner, M. I., Petersen, S. E., Fox, P. T., & Raichle, M. E. (1988). Localization of cognitive functions in the human brain. *Science*, 240, 1627–1631.
- Prechtl, H. F. R. (2001). Prenatal and early postnatal development of human motor behaviour. In: *Handbook of brain and behaviour in human development*, ed. A. F. Kalverboer & A. Gramsbergen, pp. 415–427. Kluwer Academic Press.
- Puce, A., Allison, T., Bentin, S., Gore, J. C., & McCarthy, G. (1998). Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. *Journal of Neuroscience*, 18, 2188–2199.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Katz, L. C., LaMantia, A. S., & McNamara, J. O. (1997). *Neuroscience*. Sinauer.
- Quartz, S. R., & Sejnowski, T. J. (1997). The neural basis of cognitive development: A constructivist manifesto. *Behavioral and Brain Sciences*, 20, 537–556.
- Rainer, G., & Miller, E. K. (2000). Effects of visual experience on the representation of objects in the prefrontal cortex. *Neuron*, 27, 179–189.
- Rakic, P. (1988). Specification of cerebral cortical areas. *Science*, 241, 170–176.
- Rao, S. C., Rainer, G., & Miller, E. (1997). Integration of “what” and “where” in the primate prefrontal cortex. *Science*, 276, 821–824.
- Robertson, S. S. (1988). Mechanism and function of cyclicity in spontaneous movement. In: *Behavior of the fetus*, ed. W. P. Smotherman & S. R. Robinson, pp. 77–94. Telford.
- Robertson, S. S., Bacher, L. F., & Huntington, N. J. (2001). The integration of body movement and attention in young infants. *Psychological Science*, 12, 523–526.
- Robertson, S. S., Guckenheimer, J., Masnick, A. M., & Bacher, L. F. (2004). The dynamics of infant visual foraging. *Developmental Science*, 7, 194–200.
- Rogers, T. T., & McClelland, J. L. (2004). *Semantic cognition: A parallel distributed processing approach*. MIT Press.
- Rogoff, B. (1990). *Apprenticeship in thinking, cognitive development in social contexts*. Oxford University Press.
- Rogoff, B. (1998). Cognition as a collaborative process. In: *Handbook of child psychology: Cognition, perception and language*, ed. W. Damon, pp. 679–744. Wiley.
- Ruiz-Contreras, A., & Cansino, S. (2005). Neurofisiología de la interacción entre la atención y la memoria episódica: revisión de estudios de modalidad visual. *Revista de Neurología*, 41, 733–743.
- Schlesinger, M. (2004). Evolving agents as a metaphor for the developing child. *Developmental Science*, 7, 154–168.
- Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, 96, 523–568.
- Shaywitz, B. A., & Shaywitz, S. E. (1994). Learning disabilities and attention disorders. In: *Principles of pediatric neurology*, ed. K. Swaiman, pp. 1119–1151. Mosby.
- Sheridan, S. R. (1997). *Drawing/Writing and the new literacy*. Drawing/Writing Publications.
- Shrager, J., & Johnson, M. H. (1996). Dynamic plasticity influences the emergence of function in a simple cortical array. *Neural Networks*, 9, 1119–1129.
- Shultz, T. R. (2003). *Computational developmental psychology*. MIT Press.
- Sieratzki, J. S., & Woll, B. (1998). Toddling into language: precocious language development in motor-impaired children with spinal muscular atrophy. In: *Proceedings of the 22nd Annual Boston University Conference on Language Development, Volume 2*, ed. A. Greenhill, M. Hughes, H. Littlefield & H. Walsh, pp. 684–694. Cascadilla Press.
- Simon, T. J., Hespos, S. J., & Rochat, P. (1995). Do infants understand simple arithmetic? A replication of Wynn (1992). *Cognitive Development*, 10, 253–269.
- Sirois, S. (2004). Autoassociator networks and insights into infancy. *Developmental Science*, 7, 133–40.
- Sirois, S. (2005). Hebbian motor control in a robot-embedded model of habituation. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, 12, 2772–2777.
- Sirois, S., & Mareschal, D. (2002). Models of infant habituation. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 293–298.
- Sirois, S., & Mareschal, D. (2004). An interacting systems model of infant habituation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1352–1362.
- Sokolov, E. N. (1963). *Perception and the conditioned reflex*. Pergamon.
- Sokolov, E. N., & Vinogradova, O. S. (1975). *Neuronal mechanisms of the orienting reflex*. Erlbaum.
- Stager, C. L., & Werker, J. F. (1997). Infants listen for more phonetic detail in speech perception tasks than in word-learning tasks. *Nature*, 388, 381–382.
- Stein, J., & Walsh, V. (1997). To see but not to read: The magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 20, 147–152.
- Thelen, E., & Smith, L. B. (1994). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. MIT Press.
- Thelen, E., Corbetta, D., & Spencer, J. P. (1996).

- Development of reaching during the first year: Role of movement speed. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 1059–1076.
- Thomas, M. S. C., & Karmiloff-Smith, A. (2003). Modelling language acquisition in atypical phenotypes. *Psychological Review*, 110, 647–82.
- Thorpe, W. H. (1956). *Learning and instinct in animals*. Methuen.
- Trehub, S. (1976). The discrimination of foreign speech contrasts by infants and adults. *Child Development*, 47, 466–472.
- Triesch, J., Teuscher, C., Deák, G., & Carlson, E. (2006). Gaze following: Why (not) learn it? *Developmental Science*, 9, 125–147.
- Turrigiano, G., Abbott, L. F., & Marder, E. (1994). Activity-dependent changes in the intrinsic properties of cultured neurons. *Science*, 264, 974–977.
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In: *Analysis of visual behavior*, ed. D. J. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield, pp. 549–586. 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, 892–903.
- Van der Lely, H. K. J. (1997). Language and cognitive development in a grammatical SLI boy: Modularity and innateness. *Journal of Neurolinguistics*, 10, 75–107.
- Van Essen, D. C., Anderson, C. H., & Felleman, D. J. (1992). Information processing in the primate visual system: An integrated systems perspective. *Science*, 255, 419–423.
- Vihman, M. M. (1991). Ontogeny of phonetic gestures. In: *Modularity and the motor theory of speech perception*, ed. I. Mattingly & M. Studdert-Kennedy, pp. 69–84. Erlbaum.
- Vihman, M. M. (2002). The role of mirror neurons in the ontogeny of speech. In: *Mirror neurons and the evolution of brain and language*, ed. M. Stamenov & V. Gallese, pp. 305–314. John Benjamins.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society. The developmental of higher Psychological processes*. Harvard University Press.
- Vygotsky, L. S. (1986). *Thought and language*. MIT Press.
- Waddington, C. H. (1957). *The strategy of the genes*. Allen and Unwin.
- Wallace, V., Menn, L., & Yoshinaga-Itano, C. (1998). Is babble the gateway to speech for all children? A longitudinal study of children who are deaf or hard of hearing. *Volta Review*, 100, 121–148.
- Webb, B. (1994). Robotic experiments in cricket phonotaxis. In: *From animals to animats 3: Proceedings of the Third International Conference on the Simulation of Adaptive Behaviour Brighton*, ed. D. Cliff, P. Husbands, J.-A. Meyer & S. W. Wilson, pp. 45–54. MIT Press.
- Werker, J., & Tees, R. (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development*, 7, 49–63.
- Westermann, G., & Miranda, E. R. (2004). A new model of sensorimotor coupling in the development of speech. *Brain and Language*, 89, 393–400.
- Wilcox, T. (1999). Object individuation: Infants' use of shape, size, pattern, and color. *Cognition*, 72, 125–166.
- Xu, F., & Carey, S. (1996). Infants' metaphysics: The case of numerical identity. *Cognitive Psychology*, 30, 111–153.
- Zelazo, P. R., Weiss, M. J. S., & Tarquinio, N. (1991). Habituation and recovery of neonatal orienting to auditory stimuli. In: *Newborn attention: Biological constraints and the influence of experience*, ed. M. J. S. Weis