

¿Qué nos hace inteligentes? Conocimiento Nuclear y Lenguaje Natural

Elizabeth S. Spelke (Traducción: Pablo Hernán Cueto – www.silablado.com.ar)

En *Language in Mind - Advances in the Study of Language and Thought (chapter 10)*

Dedre Gentner and Susan Goldin-Meadow (Eds.), Cambridge, MA: MIT Press (2003)

1. INTRODUCCIÓN

Cuando comparamos las capacidades sensoriales y motoras de los humanos con las de otros primates, descubrimos una extensa similitud. Las capacidades visuales y auditivas de los humanos se asemejan mucho a la de los monos *rhesus*, por ejemplo, en los mecanismos neuronales que subyacen en estas capacidades (Felleman & van Essen, 1991). La locomoción humana y otras acciones también dependen de sistemas compartidos con varios animales (Thelen, 1984). Estas similitudes sugieren fuertemente que la psicología de los humanos es continua con la de los animales no humanos y dependen de un conjunto común de mecanismos.

Sin embargo, cuando comparamos los logros cognitivos de los humanos con los de los primates no humanos, vemos sorprendentes diferencias (tabla 1). Todos los animales tienen que encontrar y reconocer alimentos, por

ejemplo, pero solo los hombres desarrollan el arte y la ciencia de la cocina. Muchos animales juveniles se engranan con juegos de peleas, pero solo los humanos organizan sus competencias en juegos estructurados con elaboradas reglas. Todos los animales necesitan saber algo sobre el comportamiento del mundo material para evitar caer en precipicios o tropezar en obstáculos, pero solo los humanos sistematizan su conocimiento como ciencia y lo extienden hasta abarcar el comportamiento de entidades muy lejanas o muy pequeñas como para percibirlos o actuar sobre ellos. Como un ejemplo final, todos los animales sociales necesitan organizar sus sociedades, pero solo los humanos crean sistemas de leyes e instituciones políticas para interpretarlas y hacerlas cumplir.

¿Qué hace que la cognición humana nos permita realizar tales proezas? En este capítulo, considero dos posibles respuestas a esta pregunta.

Tabla 1. Algunas proezas únicas de la cognición humana.

Cocina	Teatro	Ciencia
Música	Arquitectura	Política
Deportes	Manufactura de herramientas	Leyes
Juegos	Matemáticas	Religión

La primera respuesta guió mi investigación durante 20 años, pero ahora pienso que está mal. La segunda respuesta está comenzando a emerger de la investigación realizada en la última década, y creo que tiene una chance de estar bien. Ambas respuestas se centran en el concepto de Conocimiento Nuclear (*Core Knowledge*), que puedo introducir mejor volviendo a la primera respuesta.

2. ¿QUÉ NOS HACE INTELIGENTES? SISTEMAS DE CONOCIMIENTO NUCLEAR EXCLUSIVAMENTE HUMANOS

De acuerdo a la primera respuesta, las capacidades cognitivas de cualquier animal dependen de sistemas de conocimiento con un campo específico y tempranamente desarrollados. Tal como los animales jóvenes poseen un sistema perceptual especializado para detectar una clase particular de información sensorial y un sistema motor especializado que guía una

clase particular de acciones, los jóvenes animales poseen un sistema cognitivo especializado en tareas específicas: Sistemas para representar objetos materiales, para navegar a través de la disposición espacial, para reconocer e interactuar con otros animales, y cosas por el estilo. Estos sistemas especializados proveen el núcleo de todas las habilidades maduras, y cualquier cosa que sea única en la cognición humana dependerá de características únicas de nuestro Sistema de Conocimiento Nuclear (*Core Knowledge System*) tempranamente desarrollado. En la raíz de nuestra capacidad para construir y aprender física, por ejemplo, puede ser un característico sistema nuclear para representar los objetos materiales y sus movimientos; en la raíz de las matemáticas humanas, puede ser un excepcional sistema nuclear humano para representar el espacio y los números; y en la raíz de la política, las leyes y los juegos puede ser un característico sistema para representar a las personas y sus acuerdos.

Estas tesis apoyan una particular agenda de investigación: para entender qué es lo especial en la cognición humana, debemos estudiar los sistemas nucleares de conocimiento tal como emergen en infantes y niños. Tales estudios se han llevado a cabo en los últimos 30 años, y de hecho sugieren que los infantes están provistos de Sistemas de Conocimiento Nuclear. No obstante, los sistemas hallados en jóvenes infantes no parecen diferenciarnos de muchos animales no humanos.

2.1. Mecánica de Objetos

Considérese, por ejemplo, el sistema nuclear para representar objetos materiales. Investigaciones de las dos últimas décadas proveen evidencia de que los infantes poseen un sistema para representar objetos y sus movimientos, para completar las superficies y bordes de un objeto que está parcialmente oculto, y para representar la continuidad de la existencia de un objeto que se mueve completamente fuera de la vista. Evidencia de estas habilidades provienen de estudios que han usado tanto métodos de búsqueda (*reaching methods*) como métodos de mirada preferencial (*preferential looking methods*) (ver Spelke, 1998, para

una revisión). Un experimento de Wynn (1992a) sirve como ejemplo de este último.

Wynn (1992a, fig. 1) presentó a infantes de 5 meses un escenario para títeres en donde había un solo títere. Luego se colocó una pantalla que ocultó al títere, y un segundo títere apareció por un costado de la escena y desapareció detrás de la pantalla. Finalmente, la pantalla fue bajada revelando uno o dos títeres en

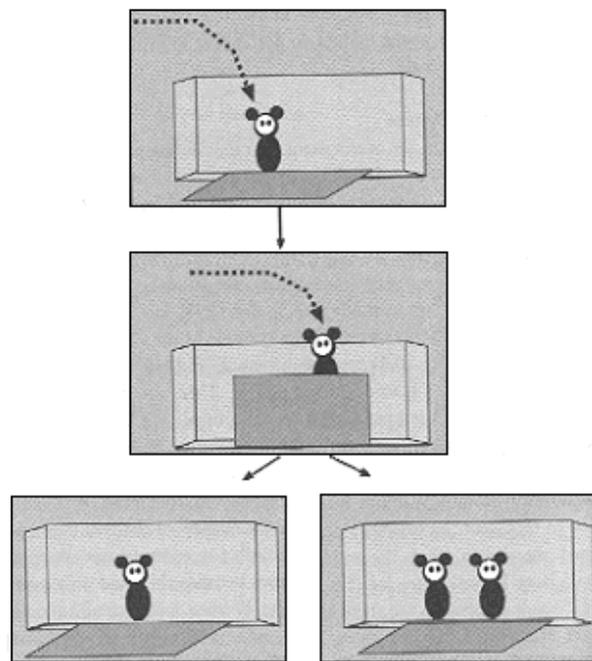


Fig. 1

el escenario, y el tiempo de mirada de los infantes en estas escenas fue medido y comparado. Si los infantes fallan en representar la existencia y distinción de los dos títeres detrás de la pantalla, entonces la aparición de la escena presentando a un solo títere les será más familiar pues anteriormente solo han observado un único títere por vez. Debido a que los infantes tienden a mirar más las escenas que son nuevas, los infantes deberían mirar más tiempo a la escena con dos títeres. Por el contrario, si los infantes representan la existencia continua del primer títere detrás de la pantalla, la diferente identidad del segundo títere cuando es introducido por un costado, y la continua existencia del segundo títere detrás de la pantalla; entonces, la aparición de una escena presentando un solo títere, les será más novedosa para ellos pues les sugerirá que uno de los títeres desapareció misteriosamente. Los infantes de hecho miran más tiempo a la escena que aparece con un títere, aportando evidencia de que ellos perciben y se representan dos títeres en este evento.

Los experimentos de Wynn han gozado de muchas réplicas y extensiones (ver Wynn, 1998, para una revisión). Notablemente, ha sido replicado en estudios que controlan las representaciones de los infantes para las características y disposiciones espaciales de los objetos (respectivamente Simon et al. 1995; Koechlin et al 1998): los infantes miran más una disposición que presenta un número erróneo de objetos aun cuando la forma, el color y la disposición espacial de los objetos en ambas muestras son nuevas. Los hallazgos de Wynn también fueron replicados con infantes más grandes en experimentos que usaron dos métodos diferentes, cada uno enfocado en diferentes sistemas de respuesta: búsqueda manual en una simple y opaca caja conteniendo uno o dos objetos (*reaching task*), y una elección locomotora (*locomotor choice task*) entre estas dos cajas (Feigenson, Carey & Hauser 2002; Van de Walle, Carey & Prevor 2001; fig. 2).

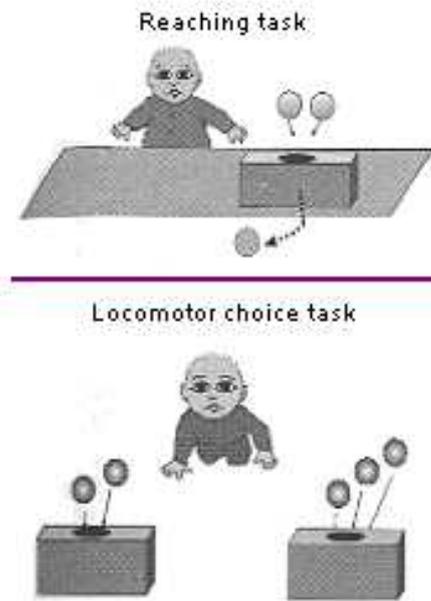


Fig. 2

En los estudios que usaron este último método, por ejemplo, a infantes que empiezan a tener una locomoción independiente se les muestran dos galletitas que son puestas sucesivamente en una caja opaca y una galletita puesta en otra caja, y luego se les permite gatear hacia una u otra caja. Se encontró que los infantes gatean preferentemente hacia la caja con mayor número de galletitas (Feigenson, Carey & Hauser 2002). Estos hallazgos convergentes desde tres paradigmas sugieren que los infantes poseen sólidas habilidades para

representar la persistencia y distinción de objetos ocultos.

Resumiendo estos y otros estudios, yo propongo que los infantes representan a los objetos teniendo en cuenta tres limitaciones espacio-temporales del movimiento de objetos (fig. 3). Los infantes representan a los objetos como cuerpos cohesivos que mantienen tanto su conexión interna como sus límites cuando se mueven, como cuerpos continuos que se mueven solo en trayectos continuos y sin obstáculos, y como cuerpos que interactúan solo y solo si entran en contacto. A pesar de cierta controversia en el campo, yo creo que estas conclusiones están bien fundadas (Spelke, 1998). No obstante, no hay razón para no pensar que el sistema nuclear para representar objetos, centrado en los límites de la cohesión, la continuidad y el contacto, es único en humanos. Habilidades representacionales que igualan y superan a la de los infantes han sido encontradas en una variedad de animales, incluyendo monos adultos y polluelos recién nacidos.

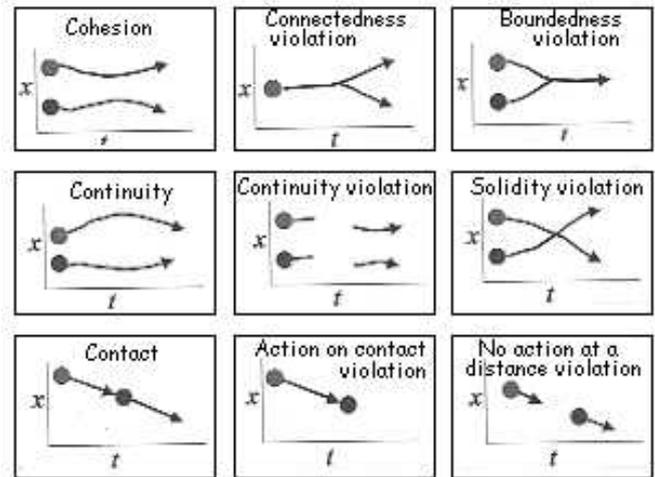


Fig. 3

Hauser ha presentado las tareas de Wynn a un amplio rango de monos *rhesus* adultos, usando los tres métodos usados en infantes: mirada preferencial, búsqueda manual y elección locomotora (Hauser et al, 2000 y 1999). Con los tres métodos el desempeño de los monos adultos igualó o superó al de los infantes. Los humanos evidentemente no son las únicas criaturas que representan a los objetos como cuerpos espacio-temporalmente continuos.

Los monos de los experimentos de Hauser fueron adultos, pero las capacidades para re-

presentar objetos fueron encontradas también en animales juveniles. De hecho, fueron encontradas en polluelos de solo 1 día de edad. Investigadores de dos laboratorios han usado un método de *imprinting* con el objeto de presentar a polluelos recién nacidos tareas de representación usadas con infantes (Lea et al., 1995). Como es bien sabido, los polluelos que pasan su primer día de vida aislados con un único objeto móvil inanimado tenderán a acercarse preferentemente a ese objeto en lugar de otros presentes en cualquier situación estresante. En una variedad de estudios este patrón de acercamiento ha sido usado para evaluar la representación de objetos ocultos en polluelos. En un grupo de estudios, por ejemplo, polluelos que pasaron su primer día con un objeto, fueron ubicados en su segundo día en una jaula no familiar (una situación moderadamente estresante) con dos versiones del objeto en extremos opuestos en donde los extremos visibles previamente fueron conectados o separados por un espacio visible. Los polluelos se acercaron selectivamente al objeto conectado, aportando evidencia de que ellos, como los infantes, percibieron el objeto “impreso” en forma continua detrás del ocultamiento (Lea et al, 1996; Regolin y Vallortiga, 1995; fig. 4). En otros estudios los polluelos fueron presentados ante situaciones en donde el objeto “impreso” fue ocultándose totalmente. Aun después de un extenso período de ocultamiento, los polluelos selectivamente buscaron el objeto oculto, aportando evidencia de que ellos representan su existencia continua (Regolin y Vallortiga, 1995).

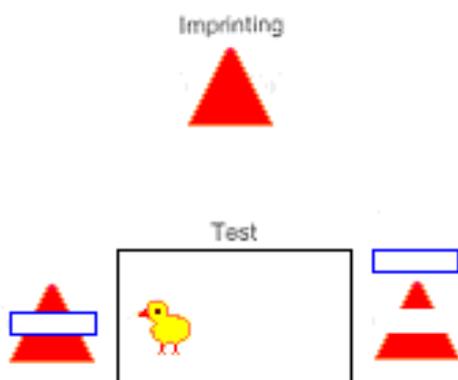


Fig. 4

Estos hallazgos sugieren que un amplio rango de vertebrados tiene capacidades para

representar objetos tempranamente desarrolladas. El sistema nuclear (*core system*) para representar objetos hallado en los infantes no parece ser único de humanos y por lo tanto no puede por sí mismo explicar el posterior desarrollo de las habilidades humanas únicas para razonar acerca del mundo físico.

2.2 Sentido numérico

Quizás los estudios sobre representación de objetos fallen en revelar las capacidades puramente humanas debido a que la representación de objetos está muy cercana a la percepción y es muy fundamental para muchos animales. Sin embargo, nuestras capacidades humanas para la ciencia y la tecnología, dependen enormemente en el desarrollo y uso de las matemáticas. Más aun, las matemáticas formales son un logro únicamente humano. Quizás un sistema nuclear para representar números distinga la cognición humana de la de otros animales y sirva de base para el desarrollo de las matemáticas, la tecnología y la ciencia.

Investigaciones en adultos humanos normales y en pacientes neurológicos aportan evidencia de que la representación numérica y las operaciones aritméticas dependen en parte de un “sentido numérico”: un sentido de valores y relaciones numéricas aproximadas (Dehaene, 1997; Gallistel & Gelman, 1992). El desempeño de este sistema está caracterizado por la Ley de Weber: a medida que la cantidad aumenta la varianza en la representación de las cantidades en los sujetos aumenta proporcionalmente, y por lo tanto la discriminación entre distintas cantidades depende de su diferencia de proporción. ¿Deriva este sentido numérico de un sistema cognitivo nuclear (*core cognitive system*) presente en infantes?

Recientemente, junto a Fei Xu y Jennifer Lipton, pudimos tratar esta cuestión a través de estudios de las habilidades para distinguir entre grandes cantidades en infantes de 6 meses de edad. En nuestros primeros estudios (Xu & Spelke, 2000), los infantes fueron confrontados con matrices visuales de puntos en una sucesión de ensayos. En diferentes ensayos, los puntos aparecieron en diferentes tamaños y en distintas posiciones, pero siempre fueron 8 los puntos en la matriz para la mitad de los infantes, y 16 puntos para la otra mitad. Para

controlar la luminosidad y el tamaño de la muestra, los puntos en las matrices más numerosas fueron, en promedio, la mitad del tamaño de los puntos en las matrices menos numerosas y aparecieron con el doble de la densidad. Las matrices de puntos fueron presentadas a los infantes hasta que el tiempo de mirada espontáneo de los infantes se redujo a la mitad del nivel inicial. Luego los infantes fueron confrontados con nuevas matrices con 8 o 16 puntos en forma alternada, igualados en la luminosidad y tamaño de los puntos. Si los infantes respondieran a cualquier propiedad continua de las matrices de puntos, deberían mirar en igual forma a las dos matrices de puntos, porque aquellas variables fueron igualadas tanto en las series de familiarización como en las series de prueba. Por el contrario, si los infantes respondieran a la cantidad y discriminaran las matrices de 8 vs. 16 puntos, se esperaría que miraran más tiempo a la matriz con cantidad novedosa. Se obtuvo una mirada preferencial, aportando evidencia de discriminación de cantidades a los 6 meses de edad (figura 5).

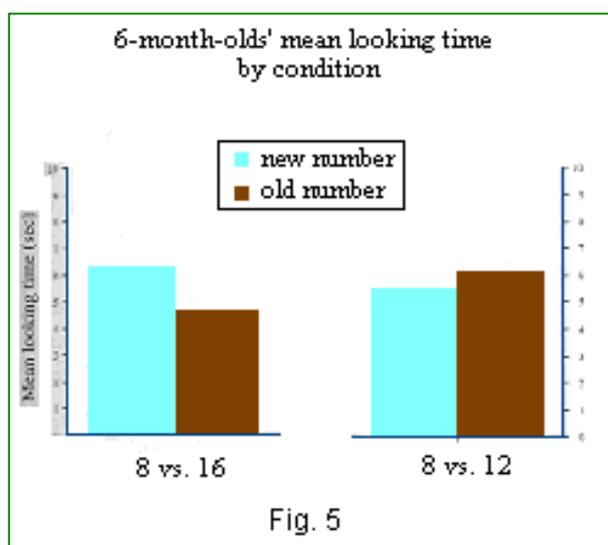
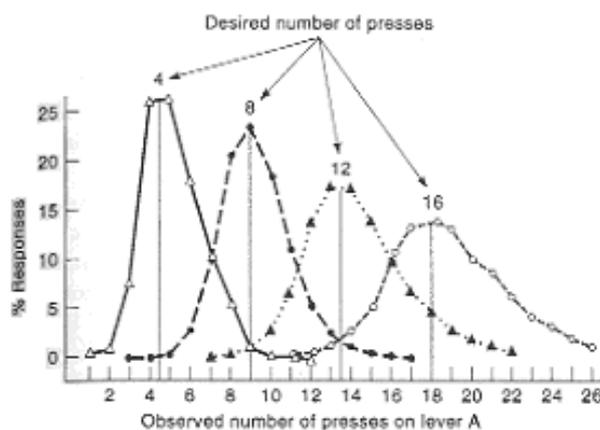


Fig. 5

En estudios subsecuentes usando este método, los infantes fallaron en discriminar matrices de 8 vs. 12 puntos (Xu & Spelke, 2000b), aportando evidencia de que su sentido numérico es impreciso. Más aun, los infantes discriminaron satisfactoriamente 16 puntos de 32 y fallaron en discriminar 16 puntos de 24 (Xu & Spelke, 2000a), aportando evidencia de que la discriminación en infantes está de acuerdo con la Ley de Weber, como en los adultos, y que la fracción crítica de Weber está

entre 1,5 y 2. Finalmente, los infantes discriminan satisfactoriamente secuencias de 8 tonos frente a 16, presentados con los mismos controles para las variables continuas de duración y cantidad de sonido, pero fallaron en discriminar secuencias de 8 tonos frente a 12 (Lipton & Spelke, in press). Estos hallazgos proveen evidencia de que las representaciones de cantidad no se limitan a una modalidad sensorial particular (visual o auditiva) o formal (espacial vs. temporal), y de que la misma fracción de Weber caracteriza la discriminación en varios tipos de matrices. Por lo tanto, el sentido de la cantidad hallado en adultos parece estar presente y funcional en infantes de 6 meses de edad.

¿Explicaría un sentido numérico nuclear nuestra capacidad únicamente humana para desarrollar las matemáticas? Si así fuera, ninguna evidencia comparable de un sentido numérico, debería ser hallada en ningún animal. Sin embargo, de hecho, capacidades para discriminar cantidades han sido halladas en casi todos los animales probados, desde peces a palomas, ratas o primates [Dehance, 1997; Gallistel (revisión), 1990; figura 6].



In this experiment, rats obtain food by pressing one lever (A) a predetermined number of times and then pressing a second lever. The number of presses on A matches approximately the required number, and responses become increasingly variable as the numbers get larger. (After Mechner 1958.)

Fig. 6

Como los infantes, los animales son capaces de discriminar entre diferentes cantidades, aun cuando todas las variables continuas potencialmente desconcertantes estén controladas, ellos discriminan entre cantidades tanto en matrices espaciales como en secuencias temporales en una variedad de modalidades sensoriales, y sus discriminaciones dependen de la diferencia de proporción de acuerdo con la Ley de Weber. Por lo tanto, el sentido numéri-

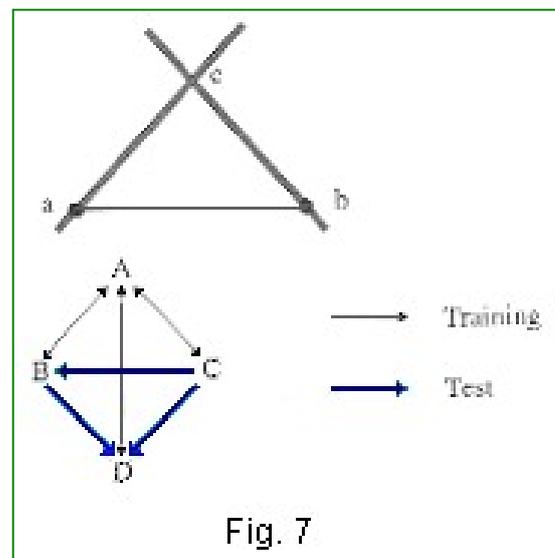
co tempranamente desarrollado en humanos, no explica por sí solo los talentos propiamente humanos para las matemáticas, las mediciones y las ciencias.

2.3. Geometría Natural

Antes de abandonar mi primera explicación acerca de qué hace a los humanos inteligentes, voy a considerar la última versión de esta explicación, inspirada en Descartes (1647). Descartes propuso divinamente que los hombres son los únicos animales dotados de razón y que la razón es la fuente de todos nuestros logros cognitivos. Muchos de los ejemplos de Descartes sobre el uso de la razón vienen del campo de la geometría. Descartes nos invita a considerar el caso de un hombre ciego que cruza dos varillas que se cruzan a una cierta distancia de él (fig. 7, arriba). Debido a que el hombre es ciego carece de todo sentido distal para aprehender el punto de cruce de las varillas (punto c). No obstante, Descartes sugiere que el hombre puede usar la “geometría natural” para inferir la ubicación de este punto de cruce a partir del conocimiento de la distancia y la relación angular entre las dos manos en el punto en que sostienen las varillas (puntos a y b). El uso sistemático de estos principios geométricos Euclidianos no solo le permite al hombre ciego percibir objetos a distancia, también le permite desarrollar la ciencia de la astronomía, la óptica y la física (Descartes, 1647). Quizás entonces, la geometría natural sea el sistema de conocimiento nuclear que explica las capacidades cognitivas propiamente humanas.

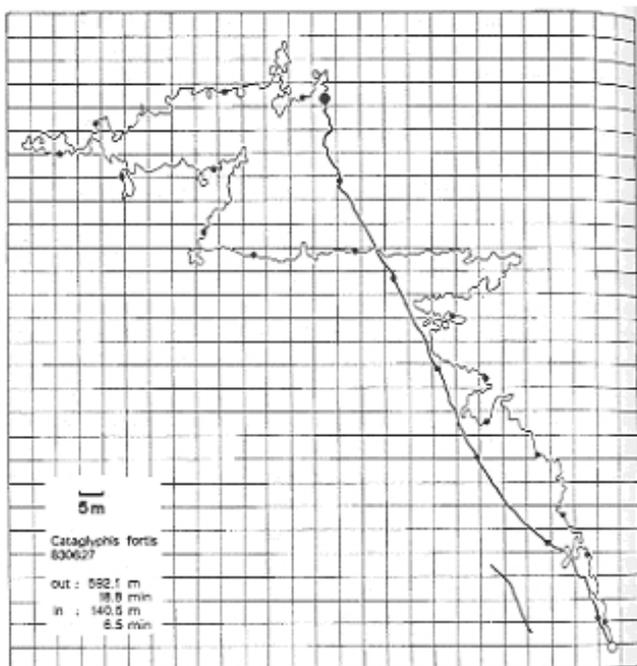
Hace unos 20 años atrás, Barbara Landau, Henry Gleitman y yo intentamos probar las conjeturas de Descartes presentando una versión de su problema de triangulación a jóvenes ciegos y a chicos con los ojos vendados (Landau, Spelke & Gleitman, 1984; fig. 7, abajo). Los chicos fueron introducidos en un cuarto conteniendo objetos en cuatro lugares estables, y caminaron entre los objetos por caminos específicos. Por ejemplo, un chico podía caminar desde su madre sentada en una silla (posición A) hasta una mesa (posición B), una caja con juguetes (posición C), o un felpudo (posición D). Luego el chico era requerido para que recorriera un camino independiente entre obje-

tos por un camino que no había recorrido previamente (por ejemplo, podía requerírsele que tomara un juguete de la caja y lo pusiera en la mesa, recorriendo un nuevo camino desde C hasta B). Nótese que el mismo principio de la geometría Euclidianiana al que alude la solución al problema de la vara del hombre ciego, se alude en la solución de este problema triangular. Tanto los chicos ciegos como los chicos con los ojos vendados, resolvieron el problema en forma fidedigna, aportando evidencia a la tesis de Descartes que proclama que los seres humanos están dotados de una geometría natural.



¿Explicaría esta dotación las habilidades para razonar específicas del ser humano? Nuevamente los estudios de navegación en otros animales son pertinentes a esta cuestión y proveen resonante evidencia en su contra. Un excesivamente amplio rango de animales ha sido observado y probado en tareas de navegación como las que Landau, Spelke y Gleitman presentaron a los niños pequeños. En todos los casos los animales igualaron o excedieron el desempeño alcanzado por los niños. La evidencia más dramática de una geometría natural proviene de los estudios de navegación de hormigas en el desierto (Wehner & Srinivasan, 1981; fig. 8). Estas hormigas abandonan su hormiguero en el casi monótono desierto Tunecino en búsqueda de animales que hayan muerto y puedan servir de alimento, siguiendo un largo y tortuoso camino desde el hormiguero hasta que el alimento es imprevisiblemente encontrado. En ese punto la hormiga traza un camino en línea recta hasta el

hormiguero: un camino que difiere de la salida que realizó y que no está guiado por hitos o zanjas. Si la hormiga es desplazada hacia un territorio nuevo en donde todos los puntos de referencia potenciales han sido removidos, su ruta sigue siendo altamente precisa: dentro de los 2 grados de la dirección correcta y dentro del 10% de la distancia correcta. Esta ruta es determinada únicamente por las relaciones geométricas entre la localización del hormiguero y la distancia y dirección recorrida en cada etapa de la salida diaria. Las hormigas por tanto poseen una “geometría natural” al menos igual, sino superior, a la de los humanos.



Path taken by a desert ant during its outward (thin line) and homeward (thick line) journey in familiar territory. (After Wehner and Srinivasan 1981.) Very similar behavior was observed after a displacement that removed all local spatial cues.

Fig. 8

Para resumir, los humanos de hecho poseen sistemas de núcleos de conocimiento tempranamente desarrollados, y estos sistemas permiten un rango de comportamientos y capacidades cognitivas altamente inteligentes incluyendo la capacidad para representar objetos ocultos, para estimar cantidades y para navegar a través de una distribución espacial. Sin embargo, en cada caso, en los animales no humanos se han encontrado capacidades que igualan o superan a la de los infantes. Por lo tanto, los sistemas de núcleos de conocimiento que han sido estudiados hasta ahora en infantes no explican los logros cognitivos únicamente humanos. Por supuesto, queda como posibilidad que

otros sistemas de núcleos de conocimiento sean únicos en los humanos y expliquen los aspectos únicos de nuestra inteligencia. Sin embargo, en ausencia de posibles sistemas candidatos, voy a tomar entonces una explicación diferente para las capacidades cognitivas únicas de los humanos.

3. ¿QUÉ NOS HACE INTELIGENTES? CAPACIDADES COMBINATORIAS EXCLUSIVAMENTE HUMANAS

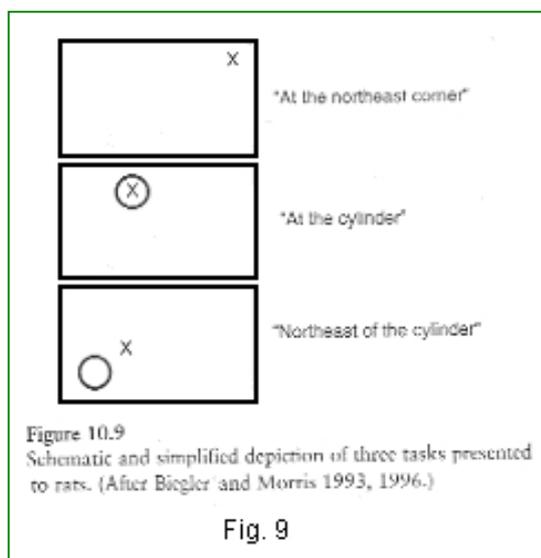
La propuesta que ahora exploro comienza con la tesis de que los humanos y otros animales están provistos con sistemas de núcleos de conocimiento tempranamente desarrollados pero estos sistemas están limitados en cuatro aspectos. Primero, los sistemas son *dominio-específicos*: cada uno sirve para representar solo un subconjunto de entidades en los alrededores del niño. Segundo, los sistemas son *tarea-específicos*: las representaciones construidas en cada sistema guían solo un subconjunto de acciones y procesos cognitivos en el repertorio del niño. Tercero, los sistemas están relativamente *encapsulados*: los trabajos internos de cada sistema son básicamente impenetrables para otras representaciones o procesos cognitivos. Cuarto, las representaciones entregadas por estos sistemas están relativamente *aisladas* unas de otras: representaciones construidas por distintos sistemas no se combinan fácilmente entre sí.

Los sistemas nucleares de conocimiento encontrados en los infantes existen a lo largo de toda la vida y sirven para construir representaciones dominio-específicas, tarea-específicas, encapsuladas y aisladas en los adultos así como en los niños. Sin embargo, con el desarrollo emerge una nueva capacidad para combinar entre sí distintas representaciones nucleares. Esta capacidad depende de un sistema que no tiene ninguno de los límites que poseen los sistemas nucleares de conocimiento: no es ni dominio ni tarea específico, por esto permite que las representaciones sean combinadas a través de cualquier dominio conceptual y sean utilizadas para cualquier tarea que puedan entender o emprender. Sus representaciones no están encapsuladas o aisladas, por eso están disponibles para cualquier proceso cogniti-

vo explícito. Este sistema es un lenguaje natural específicamente adquirido, y la dotación cognitiva que lleva a esto es, de hecho, específicamente humana: la facultad para el lenguaje humano. Los lenguajes naturales proveen al ser humano con un sistema único para combinar en forma flexible las representaciones que comparten con otros animales. Las combinaciones resultantes son únicas en los seres humanos y explican los aspectos únicos de la inteligencia humana.

Para ilustrar esta propuesta, voy a describir brevemente las dos líneas de investigación que llevan a su emergencia. Primero presento una serie de estudios sobre el desarrollo de la navegación y la memoria espacial en niños, conducidos en colaboración con Linda Hermer-Vazquez, Ranxiao Frances Wang, y Stephane Gouteux. Luego discuto un cuerpo más amplio de investigaciones sobre el desarrollo del concepto de número en niños, emprendidos por mí y Susan Carey junto a numerosos colaboradores y estudiantes.

3.1. Espacio



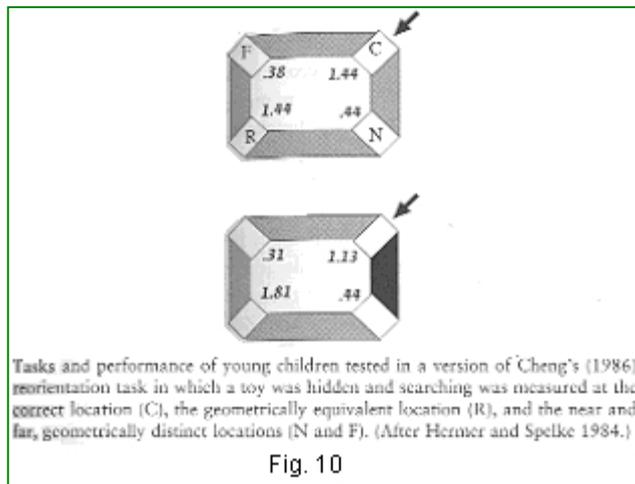
A pesar de que los animales están dotados con un rico y exquisitamente preciso mecanismo para representar y navegar a través de una distribución espacial, la navegación en animales no humanos a veces muestra límites interesantes. En experimentos conducidos por Biegler y Morris (1993, 1996; fig. 9), por ejemplo, las ratas aprendieron muy prontamente a localizar alimento buscando en una particular posición geocéntrica (por ej., en la esquina noreste de la cámara de prueba) o bus-

cando cerca de un punto de referencia particular (por ej., dentro de un cilindro blanco), pero tuvieron mayor dificultad en aprender a buscar en una relación egocéntrica particular respecto a un punto de referencia particular (por ej., al noreste del cilindro blanco). A pesar de que las ratas evidentemente pueden representar que la comida estuvo localizada “al noreste de la sala” o “en el cilindro”, no pueden rápidamente combinar estas representaciones para representarse la comida “al noreste del cilindro.”

Un límite similar apareció en los experimentos de Cheng y Gallistel (Cheng 1986; Gallistel 1990; Margules & Gallistel 1988). En sus estudios se les mostró a las ratas la ubicación de la comida, luego se las desorientó y finalmente se les permitió que se reorienten y busquen la comida. Las ratas rápidamente se reorientaron de acuerdo con la forma de la habitación pero no de acuerdo con la brillantez de sus paredes, a pesar de que experimentos anteriores de Lashley mostraron que las ratas pueden aprender directamente a responder selectivamente a paredes blancas versus negras. A pesar de que el sistema de reorientación de las ratas evidentemente representa que la comida estaba ubicada “en la esquina con la pared *larga* a la izquierda”, no representa rápidamente que la comida estaba ubicada “en la esquina con la pared *blanca* a la izquierda”. Tal como los estudios de Biegler y Morris, estos estudios sugieren un límite en la capacidad combinatoria de las ratas en tareas de navegación.

Hermer-Vazquez y yo buscamos determinar hasta donde el mismo límite existe en niños; para nuestra sorpresa, encontramos que existe. En nuestros estudios, niños de 1,5 hasta 2 años de edad fueron probados en una situación similar a la de Cheng en donde vieron un objeto escondido en la esquina de un cuarto rectangular, fueron desorientados, y luego buscaron el objeto (Hermer & Spelke 1994, 1996; fig. 10). Como las ratas de Cheng, los niños se reorientaron en relación a la forma del cuarto pero no en relación al color de las paredes. En experimentos subsecuentes, los niños fallaron en reorientarse de acuerdo al color de las paredes aun cuando fue altamente familiar (a través de la experiencia en muchas sesiones), cuando fue altamente estable, cuando era una señal directa exitosa para los niños en tareas que no

involucraban la reorientación, y cuando la pared coloreada distintiva fue presentada en un cuarto cilíndrico sin formas geométricas distintivas (Gouteux & Spelke, 2001; Wang, Hermer-Vazquez & Spelke, 1999).



Investigaciones en otros laboratorios confirmaron que los niños están altamente predispuestos a reorientarse de acuerdo a la forma de sus ambientes, y que bajo muchas circunstancias los niños fallan en reorientarse de acuerdo a la información no-geométrica (Learmonth, Nadel & Newcombe, in press; Learmonth, Newcombe & Huttenlocher, in press; Stedron, Munakata & O'Reilly, 2000). Tanto ratas como niños muestran sensibilidad a la información no-geométrica en algunas circunstancias, sin embargo (por ej.: Cheng & Spetch, 1998; Dudchenko et al., 1997; Learmonth, Newcombe & Huttenlocher, in press; Stedron, Munakata & O'Reilly, 2000), posiblemente por medio de un mecanismo que sorteja totalmente la navegación geométrica y localiza la comida emparejando vistas específicas del ambiente con "instantáneas" archivadas (por ej.: Cartwright & Collet, 1983; para una discusión ver Collet & Zeil, 1998).

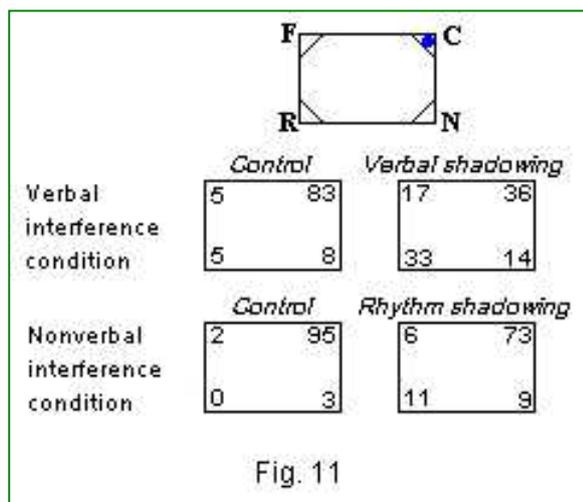
En breve, tanto ratas como niños pueden aprender a buscar a la izquierda o derecha de un punto geoméricamente definido, y pueden aprender a buscar directamente en un punto no-geoméricamente definido, pero no pueden combinar fácilmente estas dos fuentes de información para buscar a la izquierda o derecha de un punto no-geométrico definido. Por el contrario, los humanos adultos probados en circunstancias similares muestran esta habilidad bastante fácilmente (Gouteux & Spelke,

2001; Hermer & Spelke, 1994). ¿Qué es lo que cuenta para esta diferencia?

Estudios sobre el desarrollo realizados por Hermer-Vazquez, Moffett y Munkholm (2000) sugieren que la transición hacia una navegación más flexible está estrechamente relacionada con la emergencia del lenguaje espacial. En investigaciones de sección cruzada se encontró que la transición ocurre aproximadamente a los seis años, alrededor del tiempo en que la producción del lenguaje de los niños muestra el dominio de expresiones verbales que involucran *izquierda* y *derecha*. Estudios posteriores de niños en esta edad transicional, revelaron que el desempeño en tareas de producción verbal, que involucran los términos *izquierda* y *derecha*, es el mejor predictor del éxito en tareas de reorientación. Por lo tanto, el lenguaje espacial y la navegación flexible están correlacionados, pero ¿están causalmente relacionados?

En un esfuerzo inicial por resolver esta cuestión, Hermer-Vazquez, Spelke & Katsnelson (1999) retornaron a los estudios en humanos adultos usando un método de tarea dual. Si el lenguaje espacial está causalmente involucrado en la navegación flexible, razonamos, entonces cualquier tarea que interfiera con el uso productivo del lenguaje de los sujetos interferirá con su navegación. De acuerdo con esto, los adultos fueron probados en la tarea de reorientación de Hermer mientras realizaban simultáneamente una de dos tareas de interferencia: una tarea de empañamiento verbal que interfiere específicamente la producción verbal, o una tarea de empañamiento rítmico no-verbal que es igualmente demandante de recursos de atención y memoria pero no involucra al lenguaje. A pesar de que el empañamiento rítmico causa un deterioro general del desempeño, los sujetos en esa condición continuaron mostrando un patrón flexible de la reorientación de acuerdo con la información geométrica y no-geométrica. Por el contrario, los sujetos en condición de empañamiento verbal se comportan como los niños pequeños y las ratas, se reorientan de acuerdo a la forma del cuarto pero no de acuerdo a sus propiedades no-geométricas (fig. 11). Estos hallazgos proveen evidencia preliminar de que la producción del lenguaje está causalmente involu-

crada en el desempeño flexible en esta tarea de reorientación.



¿Por qué el lenguaje puede hacer que los humanos sean navegantes más flexibles? Una respuesta posible se apoya en las propiedades combinatorias del lenguaje. Quizás la propiedad más remarcable del lenguaje natural sea su composicionalidad: una vez que el hablante conoce el significado de un conjunto de palabras y las reglas para combinar esas palabras juntas, se puede representar el significado de nuevas combinaciones de esas palabras la primera vez que las escucha. La composicionalidad del lenguaje natural explica cómo se hace posible para las personas entender lo que escuchan o leen cuando virtualmente cada nueva oración que encuentran es nueva para ellos. Una vez que el hablante conoce las reglas sintácticas de su lengua nativa y el significado de un conjunto de términos, entenderá el significado de cualquier expresión bien formada que use tales términos la primera vez que la escuche, y será capaz de producir nuevas expresiones apropiadamente sin un aprendizaje ulterior.

A pesar de que la semántica composicional de un lenguaje natural es intrincada y no comprendida totalmente, una cosa es clara: las reglas para combinar palabras en una oración se aplican independientemente del sistema de conocimiento nuclear que construye las representaciones a las que las palabras se refieren. Una vez que el hablante ha aprendido la expresión *a la izquierda de X* y un conjunto de términos para personas, lugares, números, eventos, objetos, colecciones, emociones, y otras entidades, puede reemplazar *X* por expresiones

que se refieran a alguno o a todos estos dominios (por ej.: *a la izquierda de la casa donde el feliz anciano cocinó 6 kilos de pavo para su familia el pasado día de Acción de Gracias*). De esta forma, el lenguaje natural puede servir de medio para formar representaciones que trasciendan el dominio específico de los sistemas de núcleos de conocimiento.

Más específicamente, los experimentos de navegación de Cheng y Hermer sugieren que los humanos y otros animales poseen un sistema nuclear para representar propiedades geométricas de una distribución espacial (en términos de Cheng y Gallistel, un “módulo geométrico”). Las relaciones izquierda-derecha son distinguidas en este sistema: una rata o niño que haya visto un objeto oculto a la izquierda de una larga pared busca en forma confiable a la izquierda de esa pared más que a su derecha. Los niños de esta forma pueden aprender el significado del término *izquierda* relacionando expresiones que involucran ese término con representaciones puramente geométricas del ambiente. Los estudios del sistema visual sugieren aun más que los niños también poseen sistemas relativamente modulares para representar información sobre colores y otras propiedades de los objetos, y estos sistemas podrían permitir al niño aprender el significado de los términos para los colores como *azul*, y para características ambientales como *pared*. Una vez que han aprendido estos términos, la maquinaria combinatoria del lenguaje natural le permitiría a los niños formular y entender expresiones tal como *a la izquierda de la pared azul* sin más aprendizaje. Esta expresión no puede ser formulada fielmente fuera del lenguaje porque excede los dominios nucleares encapsulados del niño. Sin embargo, gracias a la facultad del lenguaje, esta expresión sirve para representar esta conjunción de información rápida y flexiblemente. Tal uso puede fundamentar el desempeño espacial flexible de los adultos.

3.2. Número

Hasta ahora he sugerido que el lenguaje natural permite a los humanos, y solo a ellos, representar combinaciones de la información tal como “a la izquierda de la pared azul”. ¿Le permitirá también a los humanos construir

nuevos sistemas de conocimiento? La investigación sobre el cambio de los conceptos de números en los niños comienza a sugerir que podría ser.

Acabo de describir dos líneas de investigación aportando evidencia de que los niños y otros animales representan información numérica. Primero, los experimentos de Wynn y otros revelan que los infantes y los primates pueden representar la identidad numérica de cada objeto en una escena, la distinción numérica de distintos objetos, y los efectos de sumar o restar un objeto. Segundo, los experimentos de Xu y otros revelan que los infantes y muchos animales pueden representar la numerosidad aproximada de un conjunto de objetos o eventos. Sin embargo, estas dos capacidades parecen depender de dos sistemas distintos: los infantes humanos y los primates adultos no los combinan espontáneamente en un sistema de conocimiento del número natural.

La evidencia sobre la diferenciación entre representaciones nucleares de, por un lado, pequeñas cantidades de objetos y, por el otro, de magnitudes numéricas aproximadas, proviene de cuatro tipos de hallazgos experimen-

tales. Primero, representaciones de objetos numéricamente distintos, muestran un límite de tamaño del conjunto de aproximadamente 3 para los infantes (4 para adultos humanos y primates), mientras que las representaciones de las cantidades aproximadas son independientes del tamaño de los conjuntos: los infantes y primates pueden discriminar igualmente bien entre conjuntos de 8 vs. 16 y 16 vs. 32, por ejemplo (Xu & Spelke, 2000). Segundo, las representaciones de cantidades aproximadas grandes muestran un límite de fracción de Weber de entre 1,5 y 2 para infantes de 6 meses de edad, entre 1,2 y 1,5 para infantes de 9 meses de edad, y aproximadamente 1,15 para humanos adultos (Lipton & Spelke in press; van Oefflen & Vos 1982), mientras que las representaciones de objetos numéricamente distintos no: los infantes pueden discriminar 2 objetos de 3 objetos, a pesar de que el límite de fracción de Weber está por debajo del umbral. Estos límites contrastantes crean una doble disociación entre representaciones de pequeños números de objetos y representaciones de conjuntos (tabla 2a).

Tabla 2. Disociación entre las representaciones de los individuos y su diferenciación numérica, y los conjuntos y sus valores cardinales.

	Individuos	Conjuntos
<i>a. Límites para la discriminación</i>		
Límite del conjunto de 3-4	+	-
Límite de Weber de 1,5-2	-	+
<i>b. Robustez sobre las variaciones del estímulo</i>		
Variación en la visibilidad	+	-
Variación en el tamaño del elemento	-	+

Un tercer hallazgo que diferencia entre representaciones de objetos y de conjuntos concierne a los efectos de la oclusión: las representaciones de objetos numéricamente distintos son robustas en la oclusión, mientras que las representaciones de cantidades aproximadas no lo son. A pesar de que los infantes y los monos, que son testigos de la introducción sucesiva de objetos individuales en una caja opaca, se pueden representar que una caja con 3 objetos tiene más objetos que una caja de 2, fallan en representar que una caja con 8 objetos tiene más objetos que una caja con 4, a pesar de que la diferencia de proporción entre estas dos cantidades está por debajo del límite

de Weber (Feigenson, Carey & Hauser 2002; Hauser, Carey & Hauser 2000).

Una cuarta diferencia concierne a los efectos de la variación en las propiedades de los artículos a ser numerados tal como su tamaño o espaciamiento: las representaciones de cantidades aproximadas grandes son robustas a través de tales variaciones, mientras que las representaciones de objetos no lo son. Los infantes humanos discriminan 8 de 16 artículos en base a su numerosidad cuando el tamaño del artículo, su densidad, el área llenada, y el área total, son modificados – hallazgos que proveen evidencia de que ellos se representan grandes números de artículos como parte de un conjunto con un valor cardinal aproximado.

Por el contrario, los infantes fallan en discriminar 1 artículo de 2 o 2 artículos de 3 en base a su numerosidad bajo estas condiciones (Clearfield & Mix 1999; Feigenson, Carey & Spelke 2002; Xu & Spelke 2000a). Estos últimos hallazgos sugieren que los infantes representan números pequeños de individuos como individuos distintos pero no como formando parte de un conjunto, cuyo valor cardinal puede ser comparado con el valor cardinal de conjuntos compuestos por otros objetos numéricamente distintos. Los tercero y cuarto hallazgos constituyen una segunda doble disociación entre representaciones de pequeños números de objetos y representaciones de grandes numerosidades aproximadas (tabla 2b).

Por lo tanto, evidencia considerable sugiere que los infantes humanos están provistos con dos sistemas distintos para representar numerosidades. Un sistema representa exactamente pequeños números de individuos persistentes y numéricamente distintos y toma en consideración la operación de adición y sustracción de un individuo de la escena. Sin embargo, falla en representar a los individuos como un conjunto y, por lo tanto, no permite a los infantes diferenciar entre diferentes conjuntos de indi-

viduos con respecto a sus valores cardinales. Un segundo sistema representa grandes números de objetos o eventos como conjuntos con valores cardinales, y permite la comparación numérica entre conjuntos. Sin embargo, este sistema falla en representar conjuntos exactamente, falla en representar a los miembros de estos conjuntos como individuos numéricamente distintos y persistentes y, por lo tanto, fallan en captar las operaciones numéricas de sumar o restar uno. De esta forma, los infantes representan “individuos” y “conjuntos”, pero fallan en combinar estas representaciones en representaciones de “conjuntos de individuos”.

El concepto “conjunto de individuos” es central en el conteo, en la aritmética simple, y en todos los conceptos de número natural. Si a los infantes les falta este concepto, tendrán problemas en entender términos de números naturales tal como *dos*. Más aun, los niños pequeños no entenderán la rutina de conteo aun cuando hayan aprendido a imitarla. Un rico cuerpo de investigaciones provee evidencia de que los niños preescolares tienen ambos problemas (Fusson 1988, Griffin & Case 1996; Wynn 1990, 1992b).

Tabla 3. Desarrollo de la comprensión de las palabras-números y la rutina de conteo en niños.

Comprensión de las palabras-números y la rutina de conteo	
2 – 2,5 años	<i>Uno</i> designa “un individuo”. <i>Dos, tres,..... seis,....</i> designa “un conjunto”.
2,5 – 3,25 años	<i>Uno</i> designa “un individuo”. <i>Dos</i> designa “un conjunto compuesto por un individuo y otro individuo”. <i>Tres,..... seis,....</i> designa “un conjunto distinto de <i>dos</i> ”.
3,25 – 3,5 años	<i>Uno</i> designa “un individuo”. <i>Dos</i> designa “un conjunto compuesto por un individuo y otro individuo”. <i>Tres</i> designa “un conjunto compuesto por un individuo, otro individuo y otro individuo más”.
3,5 – adultos	<i>Cuatro,..... seis,....</i> designa “un conjunto distinto de <i>dos</i> y de <i>tres</i> ”. Cada palabra-número designa “un conjunto de individuos”. El conjunto designado por cada palabra-número contiene “un individuo más” que el conjunto designado por la palabra anterior en la rutina de conteo.

Muchos niños inician el conteo verbal en su segundo o tercer año de vida. Sin embargo, durante meses o años después, fallan en comprender el significado de la rutina o de las palabras que la comprenden. Investigaciones de Wynn (1990, 1992b) proveen evidencia de que la comprensión de los niños se realiza en cuatro etapas (tabla 3). En la etapa 1, cuando comienzan por primera vez la rutina de conteo, los niños entienden que *uno* se refiere a “un

objeto”: si se les muestra una pintura con un pez y una pintura con tres peces, y se les pregunta por *un pez*, ellos señalan la pintura correcta; si se les permite contar una formación de peces y se les piden que le den al experimentador *un pez*, ellos le dan exactamente un objeto. En esta etapa, los niños también entienden que todas las otras palabras de números se aplican a formaciones de más de un objeto. Ellos nunca señalan la pintura de un obje-

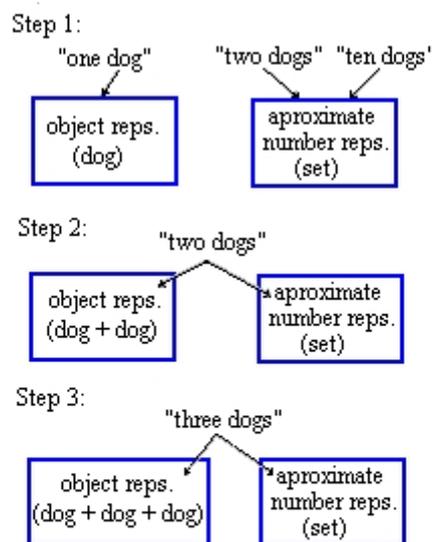
to cuando se les pregunta por *dos peces* o *seis peces*, y nunca producen un objeto cuando se les pide por más de uno.

No obstante, los niños de la etapa 1 tienen una comprensión muy limitada de las palabras en la rutina de conteo. Cuando se les muestra pinturas con dos y tres peces y se les pide que señalen la pintura con *dos peces*, ellos señalan al azar. Más aun, cuando se les permite contar una formación de objetos y se les pide que le alcancen al experimentador un número de objetos designado con una palabra de su rutina de conteo, ellos agarran un manojito al azar (Wynn 1990, 1992b). En esta etapa, los niños ni siquiera entienden que la aplicación de palabras específicas de números cambian si cambia la numerosidad de un conjunto por adición o sustracción: si a los niños se les permite contar una pila de 8 peces y luego se les dice que en la pila hay ocho peces, ellos seguirán manteniendo que la pila tiene ocho peces después que cuatro peces han sido removidos (Condry, Spelke & Xu 2000). Para los niños de la etapa 1, *uno* parece referirse a “un individuo” y todas las otras palabras de número parecen referirse a “algunos individuos” (en el sentido formal de “más de uno”).

Después de aproximadamente nueve meses de experiencia de conteo, en promedio, los niños de Wynn ponen en marcha el significado de la palabra *dos*. En esta etapa, los niños correctamente señalan o producen dos objetos cuando se les pregunta por dos, y señalan o producen formaciones de más de dos objetos cuando se les pregunta por cualquier número mayor. Tres extensos meses bastan a los niños para aprender el significado de *tres*. Finalmente, los niños muestran comprensión de todas las palabras de su rutina de conteo, y utilizan el conteo cuando se les pregunta por números de objetos mayores. En promedio, les lleva aproximadamente 1-1,5 años de experiencia con la rutina de conteo antes de que adquieran este entendimiento.

¿Por qué les lleva tanto tiempo a los niños aprender el significado de palabras como *dos*? Yo sugiero que *dos* es difícil de aprender porque se refiere a un “conjunto de individuos”, y tal concepto solo puede ser representado combinando información a través de distintos sistemas nucleares de conocimiento. Los niños prontamente aprenden parte del significado de

uno relacionando esta palabra con representaciones construidas por su sistema nuclear de representaciones de objetos: ellos aprenden que *uno* se aplica solo en caso de que la formación contenga un objeto. Los niños también aprenden rápidamente parte de los significados de otras palabras de números relacionando cada palabra a representaciones de conjuntos construidos por su sistema nuclear de sentido numérico: ellos aprenden que, por ejemplo, *seis* se aplica justo en casos en que la formación contenga a un conjunto con un valor cardinal aproximado. Sin embargo, para aprender el pleno significado de *dos*, los niños deben combinar sus representaciones de individuos y conjuntos: ellos deben aprender que *dos* se aplica justo en casos en que la formación contenga un conjunto compuesto por un individuo, y otro individuo numéricamente distinto, y ningún otro individuo (fig. 12). Desde este punto de vista, el ítem lexical *dos* es aprendido lentamente porque debe ser mapeado simultáneamente en representaciones de dos dominios nucleares distintos.



Hypothesized linkages between number words and core systems of representation at the first three steps in children's developing understanding of counting, number words, and natural numbers.

Fig. 12

Los niños eventualmente son capaces de aprender los significados de *dos* y *tres*, porque los conjuntos de individuos a los que se refieren estos términos están dentro del tamaño de conjunto límite de su sistema para representar objetos y dentro de la fracción de Weber límite de su sistema para representar conjuntos. Sin embargo, los números mayores exceden ambos límites. ¿Cómo progresan los niños desde la

etapa 3 de Wynn hasta la etapa 4 y ponen en marcha los significados de números mayores de su rutina de conteo?

Los análisis previos sugieren una respuesta posible. Una vez que los niños han mapeado *dos* y *tres* en su sistema para representar individuos y en su sistema para representar conjuntos, están en posición de tomar noticia de dos cosas. Primero, al relacionar la rutina de conteo con el sistema de representación de objetos se revela que la progresión de *dos* a *tres*, en la rutina de conteo, está marcada por *la adición de un individuo* al conjunto. Segundo, al relacionar la rutina de conteo con el sistema de sentido numérico se revela que la progresión de *dos* a *tres* está marcada por *un incremento del valor cardinal* del conjunto. Los niños pueden llegar a entender tanto el funcionamiento de la rutina de conteo como los significados de todas las palabras que esta abarca, generalizando estos descubrimientos a todos los otros escalones en la rutina de conteo. Esto es, los niños pueden alcanzar la etapa 4 cuando comprenden que cada escalón de la rutina de conteo está marcado por la adición sucesiva de un individuo de forma que incrementa el valor cardinal del conjunto de individuos. Debido a que estas representaciones exceden los límites de todos los sistemas nucleares de conocimiento de los niños, este logro depende de combinaciones conceptuales elaboradas. A su vez, esas combinaciones pueden depender del lenguaje natural de las palabras de números y de la rutina de conteo.

Por consiguiente, los estudios del aprendizaje de las palabras de número y del conteo de los niños, son consistentes con la tesis de que el lenguaje sirve como un medio para combinar representaciones nucleares de numerosidad y para construir los conceptos de número natural. Sin embargo, para probar esta tesis debemos ir más allá de la presente evidencia correlacional con niños. Una manera de hacer esto es preguntarse si las palabras de conteo de un lenguaje natural específico están causalmente involucradas en la representación numérica de los adultos. Las investigaciones que hicimos sugieren que lo si lo están (O’Kane & Spelke 2001; Spelke & Tsivkin 2001; fig. 13).

Estas investigaciones usaron un método de entrenamiento bilingüe. Adultos hábiles en dos idiomas (ruso e inglés o español e inglés) fue-

ron entrenados en diferentes conjuntos de hechos numéricos. En algunos estudios, los hechos fueron en el dominio de la aritmética: por ejemplo, los adultos podían ser entrenados para memorizar la respuesta exacta a un problema de adición de dos dígitos. En otros estudios los hechos aparecían en historias e involucraban a la edad de un carácter, al número de personas u objetos en una escena, la fecha en que algo ocurrió, o alguna dimensión medida de un objeto. En cada estudio, los sujetos aprendían algunos hechos en uno de sus lenguajes y algunos hechos en el otro. En cada lenguaje, un hecho dado podía concernir a una numerosidad grande exacta, a una numerosidad grande aproximada, o a un número pequeño y exacto de objetos. El material de estudio les fue presentado hasta que los sujetos pudieran recuperar toda la información correcta y fácilmente.

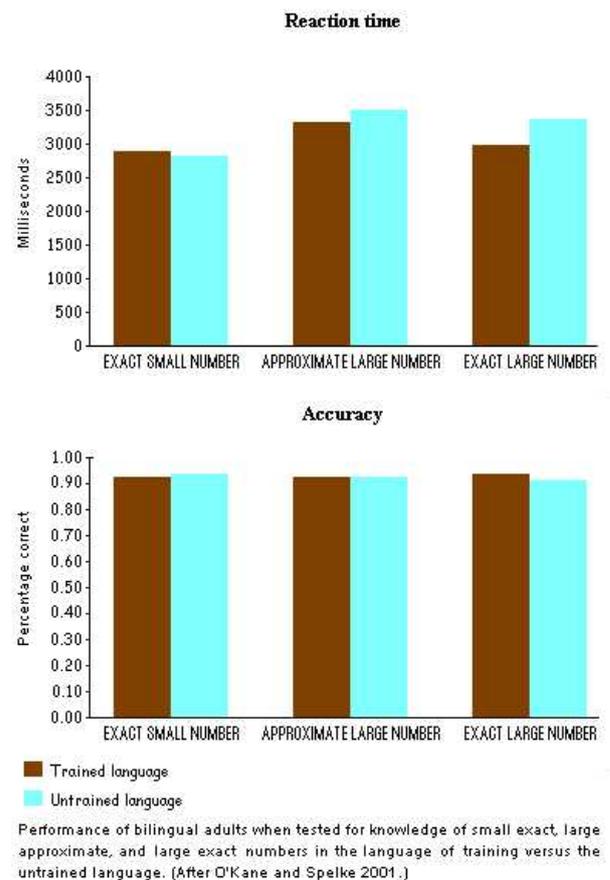


Fig. 13

Después de aprender cada hecho en un solo lenguaje, los sujetos fueron probados en todos los hechos en ambas lenguas y las cantidades de tiempo necesitadas para recuperar los hechos en la lengua de entrenamiento y en la lengua no entrenada fueron comparadas. Para

los hechos de numerosidades aproximadas y pequeños números de objetos, hubo una pequeña o ninguna ventaja en las actuaciones realizadas en la lengua entrenada en comparación con la lengua no entrenada. Estos hallazgos sugieren que los hechos numéricos grandes aproximados y los pequeños exactos fueron representados independientemente del lenguaje de los adultos, como debe ser en infantes y en adultos no-humanos. Por el contrario, para los hechos de grandes cantidades exactas, hubo una clara ventaja en el desempeño en la lengua en que el hecho fue entrenado. Estos hallazgos sugieren que los sujetos utilizaron un lenguaje natural específico para aprender hechos sobre números grandes exactos: el lenguaje en el que esos hechos fueron presentados.

Estos hallazgos y otros (ver especialmente Dehaene et al. 1999) comenzaron a sugerir que las representaciones de números en humanos tienen al menos tres componentes (ver Dehaene 1997 y Spelke 2000 para una mayor discusión). Para números muy pequeños, estas representaciones dependen en parte en lo que comúnmente es denominado un sistema de “subitización”¹ (Mandler & Shebo 1982; Trick & Pylyshyn 1994): un sistema para representar pequeños números de objetos (hasta cuatro). Para numerosidades grandes aproximadas, la representación numérica depende en parte en un sistema para representar magnitudes numéricas aproximadas (Dehaene 1997; Gallistel & Gelman 1992). Para numerosidades grandes exactas, la representación numérica depende en parte en cada uno de estos sistemas y en parte en un lenguaje natural específico.

¹ N. del T: traduzco así la palabra “subitizing”, que fue acuñada por Kaufman *et al.* en 1949 para denominar los juicios sobre números rápidos, exactos y seguros que se realizan sobre pequeñas cantidades de individuos (“The discrimination of visual number”, *American Journal of Psychology*, 62, 498-525) Proviene de la palabra latina *subitus*, que significa repentino, y captura el sentimiento de conocer inmediatamente cuántos individuos hay en una escena cuando el número de individuos presentes está dentro del rango de “subitización” (normalmente 4 en adultos).

4. PENSAMIENTO Y LENGUAJE

He considerado dos posibles respuestas a la pregunta ¿Qué hace inteligentes a los humanos? De acuerdo con la primera respuesta, la inteligencia humana depende de la dotación biológica de un sistema de núcleos de conocimiento específico para cada especie. De acuerdo con la segunda respuesta, la inteligencia humana depende tanto de un sistema de núcleos de conocimiento compartido con otros animales como de una capacidad combinatoria exclusivamente humana que sirve para unir estas representaciones y crear nuevos sistemas de conocimiento. Yo sugiero que esta última capacidad se hace posible a través de un lenguaje natural que provee el medio para combinar las representaciones provistas por los sistemas de núcleos de conocimiento. Por lo tanto, en esta segunda visión la inteligencia humana depende tanto de un conjunto de sistemas de núcleos de conocimiento como de la facultad humana para el lenguaje. Las últimas investigaciones hechas en infantes humanos, en primates no-humanos y en adultos humanos, me parecen que ahora favorecen este punto de vista.

Para terminar, intento situar esta visión en el contexto de los debates sobre la relación entre pensamiento y lenguaje. ¿Implica esta visión, que muchos de nuestros conceptos son aprendidos? ¿Cambia el aprendizaje de un lenguaje natural el conjunto de conceptos que podemos albergar? ¿Tienen diferentes repertorios conceptuales las personas que aprenden diferentes lenguajes? Para aproximarme a estas cuestiones, empiezo con una objeción que comúnmente es levantada *a priori* contra todas estas posibilidades.

4.1 La objeción nativista: Capacidad de Aprendizaje de los Lenguajes Naturales

Los lenguajes naturales son aprendidos por los niños que escuchan a las personas que hablan sobre las cosas y eventos de su alrededor. Sin embargo, para que este aprendizaje sea posible los niños deben ser capaces de conceptualizar las cosas y eventos de su alrededor en un sentido correcto: los niños no podrán, por ejemplo, aprender el significado de la palabra *vaca* a menos que puedan relacionar

la pronunciación de la palabra con la presencia de un objeto en la extensión de la clase “vaca”. Esta última representación solo es posible si el niño ya posee un concepto factible de las vacas y un procedimiento viable para identificar las instancias de tal concepto. Por lo tanto, parecería que el lenguaje nos proporciona un vehículo para expresar nuestros conceptos pero no nos provee los medios para expandir nuestros conceptos: no aprendemos nuevos conceptos aprendiendo un lenguaje natural.

Mi respuesta a este argumento es reconocerlo. Los niños aprenden muchas de las palabras de su lengua relacionándolas con conceptos preexistentes: los conceptos que se hacen explícitos por sus sistemas de núcleos de conocimiento. En particular, los niños aprenden el término *izquierda* en relación al preexistente concepto “izquierda” que es provisto por su sistema de representación geométrico. Este concepto, que es compartido con las ratas, es seguramente independiente del lenguaje, tal como lo son los conceptos infantiles “azul” y “cosa” que les permiten aprender las palabras *azul* y *cosa*. Más aun, los niños no pueden aprender, a través del lenguaje o cualquier otro medio, ningún concepto que no se hayan representado ya.

Sin embargo, los lenguajes naturales poseen una propiedad mágica. Una vez que el hablante ha aprendido los términos de una lengua y las reglas por las cuales dichos términos se combinan, se puede representar el significado de todas las combinaciones gramaticales de esos términos sin un aprendizaje ulterior. Las semánticas composicionales de los lenguajes naturales les permite a los hablantes conocer el significado de nuevas totalidades a partir del conocimiento de sus partes. A pesar de que un niño que carece del concepto *a la izquierda de la cosa azul* no lo puede aprender, no necesita hacerlo. Habiendo aprendido los significados de *izquierda*, *azul*, y *cosa*, conoce el significado de la expresión *a la izquierda de la cosa azul*. Gracias a su semántica composicional, los lenguajes naturales pueden expandir el repertorio conceptual de los niños hasta incluir no solo los conceptos preexistentes de los núcleos de conocimiento sino también cualquier otra combinación bien-formada de esos conceptos.

4.2 Un programa de investigación Whorfiano

Si la capacidad de composición de la semántica de los lenguajes naturales da lugar a una cognición flexible únicamente humana, entonces la tesis de que el lenguaje produce nuevos conceptos no puede ser descartada sobre un terreno lógico, y tanto esta tesis como las posibilidades que brinda se abren a las pruebas empíricas. Una posibilidad muy discutida que puede ser seguida en este contexto es la tesis de Whorf de que los miembros de diferentes culturas y grupos de lenguaje tienen diferentes repertorios de conceptos. Noten que ninguna evidencia o argumento de este capítulo apoya la tesis de Whorf. Si las propiedades combinatorias del lenguaje que producen nuevos conceptos son universales a través de los lenguajes humanos, entonces las capacidades conceptuales exclusivamente humanas serán universales también. Las preguntas sobre la existencia de diferencias culturales entre las capacidades conceptuales de los humanos pivotean en parte sobre las preguntas por el origen y la naturaleza de la semántica composicional. ¿Cómo trabaja la semántica composicional? ¿Hay una sola semántica composicional universal que se aplica a todos los lenguajes, o los lenguajes varían en sus propiedades combinatorias? ¿Cómo desarrollan los niños la habilidad para usar la semántica composicional de los lenguajes naturales?

A pesar de que no puedo responder a ninguna de estas preguntas, voy a cerrar con una sugerencia final. Los estudios sobre cognición en animales y en infantes, y los estudios sobre desarrollo cognitivo en niños, pueden dar luz tanto sobre nuestra remarcable capacidad para combinar significados de palabras en expresiones complejas como sobre nuestra correspondiente capacidad para combinar conceptos conocidos en conceptos nuevos. Las dos cuestiones difíciles enfrentadas por los lingüistas y otros científicos cognitivos son: (1) ¿Cuáles son los primitivos ladrillos de las representaciones semánticas complejas?, y (2) ¿Cuál es el proceso combinatorio básico por el cual estos ladrillos se ensamblan? La investigación proveniente del campo acá discutido sugiere una aproximación general a estas cuestiones. Los ladrillos de todas nuestras representaciones complejas son las representaciones que son

construidas desde sistemas de núcleos de conocimiento individuales. Y el proceso básico que los combina son los procesos que los niños usan en construir sus primeros nuevos conceptos. Los estudios sobre cognición en animales y en infantes, y sobre desarrollo en niños, pueden dar luz sobre aspectos centrales tanto sobre nuestra capacidad exclusivamente humana para el lenguaje como sobre nuestra capacidad exclusivamente humana para construir nuevos sistemas de conocimiento.

REFERENCIAS

- Biegler, R., and Morris, R. G. M. (1993). Landmark stability is a prerequisite for spatial but not discrimination learning. *Nature*, *361*, 631-633.
- Biegler, R., and Morris, R. G. M. (1996). Landmark stability: Studies exploring whether the perceived stability of the environment influences spatial representation. *The Journal of Experimental Biology*, *199*, 187-193.
- Cartwright, B. A., and Collet, T. S. (1983). Landmark learning in bees. *Journal of Comparative Physiology*, *151*, 521-543.
- Cheng, K. (1986). A purely geometric module in the rat's spatial representation. *Cognition*, *23*, 149-178.
- Cheng, K., and Spetch, M. L. (1998). Mechanisms of landmark use in mammals and birds. In S. Healy (Ed.), *Spatial representation in animal*. (pp. 1-17). Oxford: Oxford University Press.
- Clearfield, M. W., and Mix K. S. (1999). Number versus contour length in infants' discrimination of small visual sets. *Psychological Science*, *10*, 408-411.
- Collett, T. S., and Zeil, J. (1998). Places and landmarks: An arthropod perspective. In S. Healy (Ed.), *Spatial representation in animals* (pp. 18-53). Oxford: Oxford University Press.
- Condry, K., Spelke, E. S., and Xu, F. (2000, June). *From the infant's number concepts to the child's number words*. Poster presented at the International Conference on Infant Studies, Brighton, UK.
- Dehaene, S. (1997). *The number sense: How the mind creates mathematics*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Dehaene, S., Spelke, E. S., Pinel, E., Stanescu, R., and Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain-imaging evidence. *Science*, *284*, 970-974.
- Descartes, R. (1647). *Discourse on method and essays*. (Numerous translations are available).
- Dudchenko, P. A., Goodridge, J. P., Seiterle, D. A., and Taube, J. S. (1997). Effects of repeated disorientation on the acquisition of spatial tasks in rats: Dissociation between the appetitive radial arm maze and aversive water maze. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *23*, 194-210.
- Feigenson, L., Carey, S., and Hauser, M. (2002). The representations underlying infants' choice of more: Object files vs. analog magnitudes. *Psychological Science*, *13*, 150-156.
- Feigenson, L., Carey, S., and Spelke, E. S. (2002). Infants' discrimination of number vs. continuous extent. *Cognitive Psychology*, *44*, 33-36.
- Felleman, D. J., and van Essen, D. C. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex*, *1*, 1-47.
- Fuson, K. C. (1988). *Children's counting and concepts of number*. New York: Springer-Verlag.
- Gallistel, C. R. (1990). *The organization of learning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gallistel, C. R., and Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, *44*, 43-74.
- Gouteux, S., and Spelke, E. S. (2001). Children's use of geometry and landmarks to reorient in an open space. *Cognition*, *81*, 119-148.
- Griffin, S., and Case, R. (1996). Evaluating the breadth and depth of training effects, when central conceptual structures are taught. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *61* (1/2, Serial No. 246), 83-102.
- Hauser, M., Carey, S., and Hauser, L. (2000). Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkeys. *Proceedings of the Royal Society, London*, *267*, 829-833.
- Hauser, M., MacNeilage, E., and Ware, M. (1996). Numerical representations in primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, *93*, 1514-1517.
- Hermer, L., and Spelke, E. S. (1994). A geometric process for spatial reorientation in young children. *Nature*, *370*, 57-59.
- Hermer, L., and Spelke, E. S. (1996). Modularity and development: The case of spatial reorientation. *Cognition*, *61*, 195-232.
- Hermer-Vasquez, L., Moffett, A., and Munkholm, P. (2001). Language, space, and the development of cognitive flexibility in humans: The case of two spatial memory tasks. *Cognition*, *79*, 263-299.
- Hermer-Vasquez, L., Spelke, E. S., and Katsnelson, A. S. (1999). Sources of flexibility in human cognition: Dual-task studies of space and language. *Cognitive Psychology*, *39*, 3-36.
- Koechlin, E., Dehaene, S., and Mehler, J. (1998). Numerical transformations in five-month-old human infants. *Mathematical Cognition*, *3*, 89-104.
- Landau, B., Spelke, E. S., and Gleitman, H. (1984). Spatial knowledge in a young blind child. *Cognition*, *16*, 225-260.
- Lea, S. E. G., Slater, A. M., and Ryan, C. M. E. (1996). Perception of object unity in chicks: A comparison with the human infant. *Infant Behavior and Development*, *19*, 501-504.
- Learmonth, A. E., Nadel, L., and Newcombe, N. S. (in press). Reorientation, landmark use and size: The fate of geometric module. *Psychological Science*.
- Learmonth, A. E., Newcombe, N. S., and Huttenlocher, J. (in press). Toddlers' use of metric information and landmarks to reorient. *Journal of Experimental Child Psychology*.
- Lipton, J., and Spelke, E. S. (in press). Origins of number sense: Large number discrimination in human infants. *Psychological Science*.
- Mandler, G., and Shebo, B. J. (1982). Subitizing: An analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, *11*, 1-22.
- Margules, J., and Gallistel, C. R. (1988). Heading in the rat: Determination by environmental shape. *Animal Learning and Behavior*, *16*, 404-410.

- Mechner, F. (1958). Probability relations within response sequences under ratio reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 1, 109-121.
- O'Kane, G. C., and Spelke, E. S. (2001, November). *Language dependence in representations of number, space, and time*. Poster presented at the meeting of the Psychonomic Society, Orlando, FL.
- Regolin, L., and Vallortiga, G. (1995). Perception of partly occluded objects by young chicks. *Perception and Psychophysics*, 57, 971-976.
- Regolin, L., Vallortiga, G., and Zanforlin, M. (1995). Object and spatial representations in detour problems by chicks. *Animal Behavior*, 49, 195-199.
- Simon, T. J., Hespos, S. J., and Rochat, P. (1995). Do infants understand simple arithmetic? A replication of Wynn 1992a. *Cognitive Development*, 10, 253-269.
- Spelke, E. S. (1990). Principles of object perception. *Cognitive Science*, 14, 29-56.
- Spelke, E. S. (1998). Nativism, empiricism, and the origin of knowledge. *Infant Behavior and Development*, 21, 181-200.
- Spelke, E.S. (2000). Core Knowledge. *American Psychologist*, 55, 1233-1243.
- Spelke, E. S., and Tsivkin, S. (2001). Language and number: A bilingual training study. *Cognition*, 78, 45-88.
- Stedron, J. M., Munakata, Y., and O'Reilly, R. C. (2000, July). *Spatial reorientation in young children: A case of modularity?* Poster presented at the International Conference of Infant Studies, Brighton, UK.
- Thelen, E. (1984). Learning to walk: Ecological demands and phylogenetic constraints. In L. P. Lipsitt and C. Rovee-Collier (Eds.), *Advances in infancy research* (Vol. 3). Norwood, NJ: Ablex.
- Trick, L., and Pylyshyn, Z. W. (1994). Why are small and large numbers enumerated differently? A limited capacity preattentive stage in vision. *Psychological Review*, 101, 80-102.
- Van de Walle, G., Carey, S., and Prevor, M. (2001). Bases for object individuation in infancy: Evidence from manual search. *Journal of Cognition and Development*, 1, 249-280.
- van Oeffelen, M. P., and Vos, P. G. (1982). A Probabilistic model for the discrimination of visual number. *Perception and Psychophysics*, 32, 163-170.
- Wang, R. F., Hermer-Vazquez, L., and Spelke, E. S. (1999). Mechanisms of reorientation and object localization by human children: A comparison with rats. *Behavioral Neuroscience*, 113, 475-485.
- Wehner, R., and Srinivasan, M. V. (1981). Searching behavior of desert ants, genus *Cataglyphis* (Formicidae, Hymenoptera). *Journal of comparative Physiology*, 142, 315-338.
- Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition*, 36, 155-193.
- Wynn, K. (1992a). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358, 749-750.
- Wynn, K. (1992b). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology*, 24, 220-251.
- Wynn, K. (1998). Psychological foundations of number: Numerical competence in human infants. *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 296-303.
- Xu, E., and Spelke, E. S. (2000a, July). *Large number discrimination in infants: Evidence for analog magnitude representations*. Paper presented at the International Conference, on Infant Studies, Brighton, England.
- Xu, E., and Spelke, E. S. (2000b). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74, B1-B11.