“Conocimiento Nuclear” - Elizabeth Spelke

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

Publicado en ***American Psychologist*** **55 (11): 1233-1243 (2000)**

Las habilidades cognitivas complejas, como la lectura y el cálculo, y los logros cognitivos complejos, como la ciencia formal y las matemáticas, pueden depender de un conjunto de sistemas de ladrillos que emergen tempranamente en la ontogenia y filogenia humanas. Estos sistemas de conocimiento nuclear muestran límites característicos de especificidad de dominio y de tarea: cada uno sirve para representar una clase específica de entidades para un particular conjunto de propósitos. Sin embargo, al combinar las representaciones de estos sistemas la cognición humana puede lograr una flexibilidad extraordinaria. Por consiguiente, los estudios en infantes y en primates pueden contribuir a comprender las características únicas del conocimiento humano.

¿Cómo pueden los humanos desarrollar y desplegar destrezas cognitivas complejas específicas de la especie y específicas de la cultura tales como la lectura, las matemáticas, la confección de mapas, la miríada de formas de usar herramientas, y el razonamiento sobre el mundo físico y social? Los estudios de adultos que dominan estas destrezas, de niños que están en el proceso de aprenderlas, y de personas que experimentan dificultades específicas en la adquisición o en el uso de destrezas, han sido utilizados largamente para probar estas habilidades. Mi intención hoy es sugerir que ampliemos nuestra investigación para penetremos en las complejas destrezas cognitivas considerando los hallazgos de las investigaciones sobre dos poblaciones adicionales: niños muy pequeños, que aún no han comenzado el proceso de adquisición de destrezas, y animales, que están destinados a no adquirirlas nunca. Mi razonamiento es simple: cuando los niños y adultos construyen nuevas habilidades cognitivas, las edifican sobre sistemas cognitivos componentes y con una larga historia ontogénica y filogénica. Los estudios en infantes y en primates pueden aportar luz sobre estos *sistemas de conocimiento nuclear*.

¿Qué son los sistemas de conocimiento nuclear? Los estudios en infantes sugieren que son mecanismos para representar y razonar sobre clases particulares de entidades y eventos ecológicamente importantes –incluyendo objetos inanimados manipulables y sus movimientos, personas y sus acciones, lugares en la disposición espacial circundante y sus relaciones geométricas Euclidianas, y numerosidades y relaciones numéricas. Estos sistemas sirven para edificar representaciones de objetos, personas, lugares, y numerosidades que abarcan propiedades y relaciones bien abstractas, tales como la permanencia de objetos ocultos y la intención de actos percibidos. Los sistemas nucleares infantiles parecen ser muy similares a los de muchos animales, sugiriendo que poseen una larga historia evolutiva. No obstante, los sistemas de conocimiento nuclear están limitados en un número de formas: Son de *dominio específico* (cada sistema representa solo un pequeño subconjunto de cosas y eventos que perciben los infantes), son de *tarea específica* (cada sistema funciona para resolver un limitado conjunto de problemas), y están *encapsulados* (cada sistema opera con un buen grado de independencia de otros sistemas cognitivos).

La investigación en niños mayores y en adultos sugiere que los sistemas de conocimiento nuclear, encontrados en infantes, contribuyen al funcionamiento cognitivo posterior de dos maneras. Primero, los sistemas nucleares continúan existiendo en los niños mayores y en los adultos, dando lugar a representaciones de dominio específico, de tarea específica y encapsuladas, tal como se encuentran en los infantes. Segundo, los sistemas nucleares sirven como ladrillos para el desarrollo de nuevas destrezas cognitivas. Cuando los niños y adultos desarrollan nuevas habilidades para usar herramientas, para hacer cálculos aritméticos simbólicos, para leer, para navegar con mapas y puntos de referencia, o para razonar acerca de los estados mentales de otras personas, en gran parte ellos lo hacen ensamblando de nuevas formas las representaciones entregadas por sus sistemas nucleares.

Para hacer más concreta esta imagen de la cognición humana y del desarrollo cognitivo, me concentro aquí en un solo estudio de caso de conocimiento nuclear, centrado en el dominio del número. Mi historia comienza con dos sistemas de conocimiento nuclear encontrados en infantes y en primates: un sistema para representar objetos y su persistencia a través del tiempo y un sistema para representar numerosidades aproximadas. Luego me pregunto cómo los niños pequeños pueden contar con estos dos sistemas para aprender la rutina de conteo y para construir los primeros conceptos de números naturales. Finalmente, considero cómo los mismos sistemas pueden contribuir al pensamiento matemático en adultos.

CONOCIMIENTO NUCLEAR DE OBJETOS

Veinte años de investigación proveen la evidencia de que los infantes edifican representaciones de objetos como cuerpos sólidos, completos, conectados, que persisten después de la oclusión, y que mantienen su identidad a través del tiempo (por ejemplo, Baillargeon, 1993; Spelke & Van de Walle, 1993). Una de las situaciones que revelan esta habilidad fue ideada por Karen Wynn (1992). Los estudios de Wynn usaron un método de violación de la expectativa y mirada preferencial, basado en el supuesto de que los infantes mirarán más tiempo un evento inesperado que un evento similar pero esperado. En un experimento, infantes de 5 meses de edad miraron un solo animal de juguete ubicado en una tarima, luego una pantalla fue levantada para ocultar al juguete, un segundo juguete, prácticamente idéntico, fue introducido detrás de la pantalla a la vista del infante. Finalmente, la pantalla fue removida mostrando uno o dos juguetes en pruebas alternadas. Si los infantes no podían seguirle la pista a estos objetos después de la oclusión, entonces se esperaría que miraran más tiempo al despliegue de dos objetos, debido a que en todo momento solo vieron un objeto. Si los infantes le seguían la pista a cada objeto a medida que se ocultaban detrás de la pantalla y mantenían diferentes representaciones de los nes de los dos objetos, entonces el despliegue conteniendo un solo objeto habría sido inesperado, obteniéndose un tiempo de mirada mayor. Fue esta última mirada preferencial la que se obtuvo. Más aún en estudios subsiguientes, los infantes que fueron enfrentados con tareas de adición de un objeto a otro miraron más tiempo a tres objetos que a dos, lo que indicaba que sus representaciones de dos objetos era exacta, y que los infantes que primero fueron presentados con dos objetos a los que luego se removía uno de atrás de la pantalla exitosamente computaron la sustracción de dos menos uno para dar un objeto más que dos (Wynn, 1992).

Los excitantes trabajos de Wynn (1992) generaron muchas reproducciones y extensiones. En particular, Simon, Hespos y Rochat (1995) encontraron que los infantes responden apropiadamente al número de objetos de la tarea de Wynn incluso cuando las características de tales objetos cambiaron detrás de la pantalla (por ejemplo, cuando un muñeco era cambiado por otro muñeco), lo que indicaba que los infantes verdaderamente estaban representando el número de objetos y no la cantidad de alguna propiedad común de los objetos tal como su coloración o su forma detallada. Más aún, Koechlin, Dehaene y Mehler (1998) encontraron que los infantes responden al número en la tarea de Wynn incluso cuando los objetos ocultos se mueven en una plataforma giratoria, de forma que sus ubicaciones eran variables e impredecibles, lo que indicaba que los infantes respondieron al número de objetos más que a su ubicación. Tal como observó Wynn (1992), en estas experiencias la mirada preferencial de los infantes proveyeron la evidencia para tres clases de representaciones: representaciones de objetos como cuerpos que se mantienen después de la oclusión, representación de números –de la diferencia entre uno, dos y tres objetos– y representaciones de operaciones de adición y sustracción de un objeto.

Todos los estudios discutidos previamente usaron el método de la mirada preferencial, y uno podría preguntarse hasta dónde las competencias que revelan no son específicas de este método. Esta cuestión es difícil de responder en infantes de 5 meses de edad debido a que sus sistemas de acción son muy limitados, pero otros estudios, concentrados en infantes de 8 a 12 meses de edad, proveen evidencia par las mismas habilidades usando dos sistemas de respuesta bien diferentes: la búsqueda manual y la locomoción. En la tarea de búsqueda en la caja, Van de Walle, Carey y Prevor (*en prensa*) presentaron el evento uno-más-uno de Wynn (1992) escondiendo sucesivamente dos objetos en una caja, removiendo subrepticiamente un objeto de la caja, permitiendo a los infantes que recuperen el objeto restante, y observando la posterior exploración infantil de la caja. En relación a los infantes que originalmente vieron que se escondió un solo objeto en la caja, los infantes que vieron el evento uno-más-uno buscaron más tiempo y más persistentemente, como si esperaran encontrar un segundo objeto. En la tarea de elección locomotriz, Feigenson, Carey y Hauser (2000) presentaron a los infantes dos cajas en las que se pusieron, de a una a vez, diferentes números de galletitas. Después de que se puso dos galletitas en una caja y tres galletitas en la otra, las cajas fueron ampliamente separadas, y se les permitió a los infantes que gatearan hacia ellas. Los infantes se aproximaron selectivamente a la caja con tres galletitas, sugiriendo que ellos se representan el número de galletitas en la caja.

Por consiguiente, las tres tareas, utilizando sistemas de respuesta diferentes y diferentes objetos, proveen evidencia de que los infantes siguen la pista de los objetos que han sido ocultos y construyen, a partir de un patrón de ocultamientos sucesivos, la representación del número preciso de objetos en la serie. Sin embargo, otros estudios más demostraron dos interesantes límites a las habilidades infantiles. Primero, los infantes fracasan en representar números cuando se los presenta con entidades que no se comportan como los objetos. Por ejemplo, Huntley-Fenner y Carey (2000) repitieron los estudios de Wynn (1992) usando, en lugar de objetos, pilas de arena inconsistentes y no cohesivas, y no encontraron respuestas consistentes con el número de pilas de arena. Como segundo ejemplo, Chiang y Wynn (*en prensa*) condujeron experimentos similares a los de Wynn usando una colección de objetos: una pila de bloques. Excepto en los casos en que la colección podía ser representada como objetos individuales separados, los infantes no pudieron seguir las colecciones después de la oclusión. Estos hallazgos proveen evidencia de que el sistema de representación que trabaja en esta familia de experimentos es de dominio específico: opera sobre objetos pero no en otras entidades percibidas.

La segunda limitación a las representaciones infantiles de objetos en las tareas de Wynn aparece cuando el número de objetos es incrementado. Los infantes representan exitosamente objetos después de la oclusión en la medida que el número total de objetos ocultos sea pequeño –alrededor de tres– pero fracasan con números mayores. Por ejemplo, los participantes de los experimentos de búsqueda locomotriz de Feigenson y colaboradores (2000) se acercaron con éxito a la caja que contenía dos galletitas en lugar de una, o tres galletitas en lugar de dos, pero fracasaron en acercarse a la caja que tenía ocho galletitas en lugar de cuatro. A pesar de que los infantes le pueden seguir la pista a múltiples objetos después de su ocultamiento, esta habilidad parece quebrarse cuando el número de objetos se incrementa más allá de tres.

En resumen, diversos hallazgos proveen evidencia de que los infantes tienen un sistema para representar objetos que les permite seguirle la pista a múltiples objetos simultáneamente. El sistema es de dominio específico (se aplica a objetos pero no a otras entidades percibidas tales como pilas de arena), está sujeto a un límite de tamaño de conjunto (le permite a los infantes seguirle la pista a tres objetos pero no a más), y sobrevive los cambios de un número de propiedades de los objetos, incluyendo al color, la forma detallada, y la ubicación espacial. El mismo sistema parece existir en una población de primates –monos rhesus adultos de vida semi-libre– que han sido probados con los mismos métodos y los mismos tipos de estímulos que los infantes. Al igual que los infantes, los monos pueden adicionar un objeto a otro para formar una representación de dos objetos cuando se les administra la tarea de mirada preferencial de Wynn (Huse, MacNeilage & Ware, 1996). Los monos también usan tales representaciones para guiar su búsqueda en un sola caja o para guiar su elección entre dos cajas cuando se los prueba con las tareas de búsqueda en la caja y de elección locomotriz (Hauser, Carey & Hauser, 2000). Al igual que los infantes, los monos adultos muestran un límite en el tamaño del conjunto en sus representaciones numéricas: en la tarea de elección locomotriz, por ejemplo, eligen consistentemente la caja con más objetos cuando se les da una tarea de uno versus dos, dos versus tres, o tres versus cuatro, pero fallan en la elección de cuatro versus ocho. Los infantes y los monos adultos forman representaciones nucleares de objetos muy similares.

¿Existe también este sistema de representación en los humanos adultos? Scholl y Leslie (1999) han notado que el sistema infantil para la representación de objetos muestra algunas intrigantes similitudes con un sistema de representación que es usado por los adultos cuando tienen que seguir objetos visibles a través del tiempo y toman decisiones rápidas acerca de éstos. Una tarea que Scholl y Leslie han considerado es la tarea de seguimiento de múltiples objetos de Pylyshyn y Storm (1988). Los participantes son presentados con una serie de formas visibles idénticas, digamos, ocho círculos blancos. Inicialmente la serie está estacionaria, un subconjunto de círculos diana relampaguean brevemente, y luego todos los círculos comienzan a moverse continuamente e independientemente. Durante este movimiento, los participantes deben prestar atención a las dianas que relampaguearon al principio e indicar si un solo círculo que relampaguea al final de la prueba es una de ellas. Esta tarea es muy fácil cuando los participantes atienden a una o dos dianas, se hace más difícil cuando deben atender a tres o cuatro dianas a la vez, y se hace casi imposible cuando deben prestar atención a un número mayor de dianas. Al igual que los infantes y monos, los adultos pueden seguirle la pista a múltiples objetos, pero muestran un límite en el tamaño del conjunto. Mientras que el límite de los infantes es alrededor de tres objetos, el límite de los adultos es como el de los monos, alrededor de cuatro.

La tarea de Wynn con infantes y la tarea de Pylyshyn y Storm (1988) muestran algunas similitudes pero, ¿es el mismo sistema de conocimiento nuclear el que trabaja en ambos casos? Una bonita serie de experimentos realizados por Brian Scholl sugiere que así es. Scholl probó adultos en la tarea de seguimiento de múltiples objetos para ver hasta dónde tenían éxito o fracasaban en el seguimiento de objetos bajo las mismas condiciones que los infantes. Un estudio, por ejemplo, comparó el seguimiento de múltiples objetos de los adultos en condiciones en donde los objetos aparecían para ser temporalmente ocultos o para temporalmente dejar de existir (*implosión*; Scholl & Pylyshyn, 1999). En estudios anteriores de Bower (1966) y otros, se había encontrado que los infantes seguían objetos durante la oclusión pero no durante una implosión. Al igual que los infantes, los adultos de Scholl y Pylyshyn siguieron exitosamente objetos bajo oclusión pero no en el evento de implosión. En un segundo estudio, Sholl y Pylyshyn se preguntaron hasta dónde los adultos tenían éxito en el seguimiento de los objetos si características tales como el color y la forma cambiaban durante la tarea de seguimiento. Al igual que los infantes de los estudios de Simon y col. (1995), los adultos no fueron afectados por estos cambios de características. En un tercer estudio, Scholl, Pylyshyn y Feldman (*en prensa*) se preguntaron hasta los adultos perderían su habilidad para seguir objetos separados si los objetos perdían sus bordes definidos: un límite sugerido por los estudios en infantes (Spelke & Van de Wall, 1993). Los mismos ocho círculos fueron presentados para su seguimiento pero ahora, pares de círculos fueron conectados por líneas, de forma que no parecían ser ocho objetos separados sino cuatro “barras de pesas” conectadas. Cuando se les pidió a los participantes que siguieran cuatro de los ocho extremos de las pesas, fracasaron absolutamente en la tarea. Al igual que los infantes, el sistema para representar objetos de los adultos es de dominio específico: sirve para seguir objetos espacialmente diferentes, con bordes definidos, pero otras entidades perceptibles, tales como partes de objetos conectadas espacialmente.

Los experimentos de Sholl y Pylyshyn (1999), y Sholl, Pylyshyn y Feldman (*en prensa*), ilustran cómo uno puede tornar una aparente similitud, entre el funcionamiento cognitivo de infantes y adultos, en un conjunto de hipótesis verificables probando hasta dónde un solo sistema nuclear está trabajando en ambas edades. En este caso, hasta ahora toda la evidencia sugiere que el mismo sistema cognitivo subyace en las representaciones infantiles de objetos en las tareas de adición y en las representaciones adultas de objetos en las tareas de seguimiento de múltiples objetos. Este sistema construye representaciones de objetos que sobreviven a la oclusión y de las que los adultos están concientemente advertidos, pero es de dominio específico (se aplica a objetos pero no a partes de objetos) y es de tarea específica (sostiene objetos bajo oclusión pero no bajo implosión). Más aún, los trabajos internos de este sistema son opacos a los adultos y están a contramano de algunas de sus creencias. Por ejemplo, los adultos creen que los objetos no cambian radicalmente su forma y color cuando están ocultos, aún así, el sistema de representación que guía a los adultos en el seguimiento de objetos es impermeable a estos cambios. Estas son marcas de calidad de un sistema de conocimiento nuclear.

CONOCIMIENTO NUCLEAR DE NUMEROSIDADES

Tomaré ahora un segundo sistema de conocimiento nuclear que sirve para representar magnitudes numéricas aproximadas. Muchos estudios de representación numérica están plagados por un engañoso problema metodológico: dondequiera que una exhibición difiera en numerosidad, también difiere en otras dimensiones continuas. Por ejemplo, si dos conjuntos con diferentes números de objetos presentan objetos de la misma forma y color, entonces el conjunto más numeroso también presentará un área coloreada mayor. Y si los conjuntos presentan objetos que aparentan una misma densidad, entonces el conjunto más numeroso cubrirá una mayor región en la exhibición. No obstante, los recientes experimentos de Fei Xu, Jennifer Lipton y Hilary Barth, han sorteado estos problemas y proveen una prueba de las representaciones infantiles y adultas de grandes numerosidades.

Los experimentos de Xu usaron un método de mirada preferencial diferente, concentrándose en la tendencia infantil a mirar disposiciones novedosas más tiempo que a las familiares. En el estudio de Xu y Spelke (2000b), infantes de 6 meses de edad fueron presentados con una sucesión de disposiciones de puntos en una serie de ensayos de familiarización. La posición y tamaño de los puntos variaba de ensayo a ensayo, pero el número de puntos permanecía constante: 8 puntos para la mitad de los participantes y 16 puntos para el resto. Más aun, las disposiciones de8 y 16 puntos fueron igualadas en su tamaño total (y por lo tanto diferían en densidad) y en su luminosidad total y área de superficie cubierta (y por lo tanto diferían en el tamaño de elemento promedio). Después que el tiempo de mirada a la disposición hubo declinado, todos los infantes fueron presentados con la disposición de prueba de 8 vs. 16 puntos en ensayos alternativos. Estos estímulos controles efectivamente desenmarañan las respuestas al número de las respuestas correlacionadas con variables continuas: si los infantes fracasan en responder al número y en su lugar responden a variables como la densidad o la luminosidad, entonces los infantes de los dos grupos deberían mirar de igual forma a las dos disposiciones.

En este experimento, los infantes miraron más a la disposición que presentaba la numerosidad novedosa, proveyendo evidencia de que pueden discriminar entre disposiciones de 8 y 16 puntos en base a su numerosidad. Por contraste, en los experimentos de Xu y Spelke (2000a, 2000b) los infantes fallaron en discriminar 8 de 16 o 16 de 24 puntos cuando eran probados con el mismo método, tal como los infantes fallaron en discriminar 4 de 6 puntos en un experimento realizado anteriormente por Starkey y Cooper (1980) cuando los probaron con un método similar aunque sin los mismos estímulos controles. Estos hallazgos sugieren que las discriminaciones infantiles de grandes números son imprecisas y dependen de la relación de tamaño de los conjuntos a ser discriminados: Los infantes tienen éxito con tamaños de conjunto con una relación de 2:1 tales como 8 versus 16 o 16 versus 32, pero fracasan con tamaños de conjunto con una relación de 3:2 tales como 8 versus 12 o 4 versus 6.

Estudios muy recientes hechos por Lipton y Spelke (2000) se han preguntado hasta dónde la sensibilidad infantil a la numerosidad es lo suficientemente robusta para aparecer cuando los infantes son probados con diferentes tipos de estímulos o con diferentes comportamientos de respuesta. Lipton y Spelke usaron el procedimiento del volteo preferencial de la cabeza, desarrollado para estudios de percepción del habla en la infancia (Jusczyk, 1997), para probar en infantes de 6 meses de edad la sensibilidad a la numerosidad en secuencias de sonidos. En una serie de ensayos de familiarización, los infantes escucharon diferentes secuencias de sonidos ejecutados por parlantes ubicados a la derecha o a la izquierda, y después de repetir cada secuencia se midió el tiempo que pasaban con la cabeza volteada hacia el parlante. En diferentes ensayos, los sonidos individuales diferían en duración, espaciado y calidad (en total fueron usados seis sonidos sintetizados), pero siempre presentaron la misma numerosidad: 8 para la mitad de los infantes y 16 para los otros. Después que la orientación de la cabeza hacia los sonidos declinó, los infantes de ambos grupos fueron confrontados con nuevas secuencias de 8 y 16 en forma alternada.

Durante la familiarización y la prueba, se varió la duración de los sonidos individuales y las duraciones totales de las secuencias, como en los experimentos de Xu y Spelke (2000a, 2000b), para disociar las respuestas al número de las respuestas a estas variables continuas. Los infantes se orientaron con mayor duración hacia los parlantes después de escuchar la numerosidad novedosa, proveyendo evidencia de que pueden discriminar las secuencias de 8 y 16 ítems en base a la numerosidad. En un siguiente estudio, los infantes fallaron en discriminar secuencias de 8 ítems de las de 16, tal como lo habían hecho con las disposiciones espaciales de puntos. Estos hallazgos proveen aun más evidencia de que las representaciones infantiles de grandes numerosidades es imprecisa y de que la discriminación numérica depende de la relación de los tamaños de conjunto. De forma intrigante, sugieren que los mismos límites de relación se aplican a disposiciones visuales de puntos en el espacio, y a disposiciones auditivas de sonidos en el tiempo. Estos hallazgos proveen una insinuación inicial de que las representaciones de grandes numerosidades aproximadas pueden ser independientes de la modalidad sensorial o del formato del estímulo (temporal vs. espacial).

Además del límite de la relación de tamaños de los conjuntos, los experimentos en infantes sugieren otros dos límites a las habilidades infantiles para discriminar entre grandes numerosidades. Primero, en las tareas de elección locomotriz, ya habíamos notado que los infantes son incapaces de discriminar entre grandes números de objetos cuando los objetos deben ser seguidos individualmente bajo oclusión. Cuando cuatro galletitas son puestas sucesivamente en una caja, y ocho galletitas son puestas sucesivamente en otra caja, los infantes fracasan en responder a esta diferencia numérica, aún cuando las numerosidades difieren en una relación 2:1. Una segunda diferencia fue revelada cuando Xu y Spelke (2000a) repitieron sus experimentos de discriminación de puntos con un número pequeño de puntos: los infantes de seis meses de edad fracasaron en discriminar entre secuencias de uno versus dos puntos, o dos versus tres puntos, cuando la discriminación fue probada usando los mismos controles para variables continuas que Xu y Spelke (2000a) usaron para grandes numerosidades. Estos hallazgos al principio nos sorprendieron, pero son robustos, fueron observados en experimentos independientes por Clearfield y Mix (1999) con patrones de dos dimensiones y por Feigenson, Carey y Spelke (2000) con objetos de tres dimensiones. A pesar de que los infantes tratan los números grandes de ítems visibles como un conjunto y de que discriminan entre estos conjuntos en base a su numerosidad, parecen tratar los números pequeños de ítems visibles como objetos individuales que pueden ser seguidos a través del tiempo pero no como un conjunto con un número cardinal específico que puede ser determinado instantáneamente por diferentes objetos en diferentes momentos.

¿Qué mecanismo subyace en las representaciones infantiles de grandes numerosidades, y cómo se relaciona con el mecanismo que subyace en las representaciones infantiles de objetos en las tareas de adición y sustracción de Wynn (1992)? Debido a que los infantes, tanto en las tareas de Wynn como en las tareas de Xu y Spelke (2000a, 2000b) y de Lipton y Spelke (2000), responden al número de individuos en una disposición, una hipótesis natural es que el mismo sistema de representación de la numerosidad subyace en el desempeño con numerosidades pequeñas y grandes. Esta hipótesis ha ganado muchos partidarios (por ejemplo, Dehane, 1997; Wynn, 1998), pero yo pienso que el peso de la evidencia va en su contra. Tres conjuntos de hallazgos sugieren que el sistema que subyace en las representaciones de números pequeños de objetos es diferente del sistema que subyace en las representaciones de grandes numerosidades. Primero, el desempeño con números pequeños y grandes está sujeto a diferentes límites: la tarea con números pequeños de Wynn muestra un límite de tamaño de conjunto de tres, mientras que las tareas con números grandes de Xu y Spelke (2000a, 2000b) muestran un límite en la relación de tamaño de los conjuntos de 2:1. Segundo, el desempeño con números pequeños de objetos es robusto bajo oclusión, pero el desempeño con números grandes de objetos no lo es: los infantes pueden discriminar grandes conjuntos cuando los elementos están continuamente disponibles pero no cuando aparecen y son ocluidos de a uno. Tercero, el desempeño con grandes números es robusto a través de variaciones en las cantidades continuas, incluyendo tamaño del ítem, área de superficie total, densidad, y tamaño de la disposición, pero el desempeño con números pequeños de ítems no lo es: los infantes no discriminan un punto o de dos puntos cuando las cantidades continuas son estrictamente igualadas en las disposiciones.

Poniendo todos estos hallazgos juntos, yo sugiero que dos sistemas de conocimiento nuclear están trabajando en estos experimentos. Como ya se ha descrito, uno es el sistema para representar objetos y su persistente identidad a través del tiempo. El otro es un sistema para representar conjuntos y sus valores numéricos aproximados. Estos sistemas son de dominio específico (uno se aplica a objetos, el otro se aplica a conjuntos), de tarea específica (uno permite la adición de uno, el otro permite la comparación de pares), e independientes (las situaciones que evoca uno con diferentes de las que evoca el otro).

He discutido la evidencia de que el sistema nuclear de objetos encontrado en infantes también existe en monos adultos; ¿qué hay sobre el sistema nuclear de numerosidades? Una riqueza de investigaciones provee evidencia de representaciones para numerosidades grandes aproximadas en muchos animales, incluyendo tanto ratas y palomas como primates (ver Boysen & Capaldi, 1993; y para una revisión Gallistel, 1990). En los animales, como en los infantes, la discriminación depende de la relación de las numerosidades a ser comparadas y, por otra parte, es independiente del tamaño del conjunto. En muchas situaciones, los animales forman representaciones abstractas de la numerosidad que sobreviven a los cambios en la modalidad o formato de la presentación (ver Gallistel. 1990). Finalmente, los monos no discriminan números de objetos grandes y aproximados cuando los objetos son introducidos y ocluidos uno por uno (Hauser y col., 2000). Estos hallazgos sugieren que las representaciones nucleares de numerosidades encontradas en infantes son similares a las encontradas en varios animales.

Muchas investigaciones también proveen evidencia de que los adultos humanos pueden representar grandes numerosidades aproximadas cuando se los presenta con series espaciales de puntos o secuencias de sonidos. ¿Dependen estas habilidades de los mismos mecanismos encontrados por Xu & Spelke (2000a, 2000b) y Lipton & Spelke (2000) en infantes? Una nueva serie de experimentos (Barth, Kanwisher & Spelke, 2000) sugiere que pueden. Primero, Barth y col. se preguntaron hasta donde los adultos pueden discriminar dos series visuales de puntos, dos secuencias visuales de destellos lumínicos, o dos secuencias temporales de sonidos en base a sus numerosidades, como los infantes, cuando las variables continuas tales como luminosidad de la serie, densidad de los elementos, o duración de la secuencia, eran controladas. Se encontró que los adultos tienen estas habilidades. Luego, Barth y col. se preguntaron hasta dónde, para los adultos, la habilidad para discriminar entre dos series o secuencias con grandes números de elementos depende, como los infantes, de la relación de tamaño de los dos conjuntos. La discriminación de la numerosidad adulta se probó en un rango de tamaños de conjuntos (de 10 a 70 ítems) y de relaciones de tamaño de conjuntos (1:3 a 6:7). El desempeño dependió solo de la relación de tamaño de los conjuntos: discriminar 40 puntos de 60 fue tan fácil como discriminar 20 puntos de 60 y más fácil que discriminar 40 puntos de 50. La única diferencia entre los adultos y los infantes concernió a la precisión de la representaciones de las numerosidades: a pesar de que los infantes fracasan en discriminar entre conjuntos con una relación de 3:2, los adultos fácilmente lo hacen y se desempeñan por encima del azar incluso en las mayores relaciones probadas.

El experimento final de Barth y col. (2000) fue inspirado por los estudios de discriminación numérica en animales. Se preguntaron hasta dónde la discriminación de la numerosidad adulta dependió de representaciones que fueron abstractas e independientes del formato o modalidad sensorial. Los adultos fueron presentados con tres tipos de arreglos: series visual-espaciales de puntos, secuencias visual-temporales de destellos lumínicos, y secuencias auditivo-temporales de sonidos. En algunos bloques de ensayos, como en los estudios previos, los adultos compararon la numerosidad de dos arreglos con una modalidad y formato común. En otros bloques de ensayos, los adultos compararon numerosidades cruzando modalidades, formatos, o ambos. En el último caso, los participantes tenían que juzgar hasta dónde un arreglo espacial de puntos tenía más o menos elementos que una secuencia temporal de sonidos. Unánimemente, los adultos predijeron que las tareas con arreglos heterogéneos serían más difíciles que las tareas con arreglos homogéneos, y muchos adultos expresaron poca confianza en sus juicios. Sin embargo, la exactitud de sus comparaciones numéricas en los arreglos heterogéneos fue tan alta como en los arreglos homogéneos. Estos hallazgos sugieren que los adultos tienen un sistema para representar grandes numerosidades aproximadas independientemente de la modalidad o formato, pero el sistema está tan encapsulado que muchos de nosotros ¡no creemos que lo tenemos! Las comparaciones con infantes sugieren que este es un sistema de conocimiento nuclear que emerge tempranamente en la infancia, aumenta su precisión a lo largo del desarrollo, y persiste a lo largo de la vida.

Hasta ahora he sugerido que, los infantes, varios animales, y los adultos, tienen dos sistemas de conocimiento nuclear. ¿Qué rol juegan estos sistemas en el desarrollo de habilidades cognitivas complejas? Para aproximarme a esta cuestión, considero cómo los niños desarrollan los conceptos numéricos que están en el corazón del currículo de la escuela primaria: el concepto de número natural y el de aritmética simple.

Aprendiendo las palabras número y la rutina de conteo

La investigación de muchos investigadores provee evidencia de que muchos chicos poseen una comprensión básica de los números naturales antes de entrar al colegio (Butterworth, 1999; Gelman & Gallistel, 1978). Los niños comprenden, por ejemplo, que los números forman una progresión que comienza con uno y continúa por sumas sucesivas de uno sin límite superior. También comprenden que dos conjuntos pueden ser sumados o restados para dar un tercero y que contar para adelante o para atrás provee un medio para evaluar el valor numérico de estos conjuntos. ¿Cómo adquieren los niños esta comprensión?

El comparar los conceptos numéricos de los jóvenes escolares con los sistemas de conocimiento nuclear infantiles nos sugiere cuán lejos deben los niños ir. Para los infantes, los números pequeños y los números grandes están representados en forma diferente; para los escolares, todo número natural tiene las mismas propiedades generales.

Más aún, las representaciones infantiles de números pequeños están limitadas en el tamaño del conjunto, y sus representaciones de números grandes están limitadas en precisión, pero las representaciones numéricas de los escolares no muestran ningún límite: el número de individuos de un conjunto, en principio, puede ser representado en forma precisa y sin límite superior. Finalmente, los infantes pueden realizar adiciones y sustracciones de números pequeños y pueden comparar los valores cardinales de grandes conjuntos, pero no pueden sumar y restar grandes conjuntos ni comparar los valores cardinales un número pequeño de objetos; por el contrario, los escolares realizan sumas y comparaciones numéricas con todos los tamaños de conjuntos. Por lo tanto, el estudio de los infantes nos permitiría predecir que el desarrollo y la comprensión del conteo y los números naturales será difícil para los niños, y la investigación muestra que así es.

Los estudios de Fuson (1988), Griffin & Case (1996), y otros, revelan que cuando los niños empiezan a comprometerse por primera vez con la rutina de conteo, apuntando los objetos en sucesión mientras recitan la lista de conteo, tienen poca idea de lo que están haciendo. Por ejemplo, Wynn (1990) evaluó la comprensión de los niños de 2 a 4 años de sus palabras en sus propias listas de conteo a través de una simple tarea en donde ella les presentaba una pila de objetos y les pedía, por ejemplo, "dos peces". Los más pequeños contadores le daban correctamente un objeto cuando ella les pedía uno, pero respondieron al azar, agarrando un manojo, cuado les pedía otro número. (Curiosamente, los niños nunca le dieron justo un solo objeto cuando les pedía un número mayor, sugiriendo que comprendieron que las otras palabras número designaban conjuntos mayores que uno). Alrededor de 9 meses más tarde, los niños dominaron el significado de la palabra *dos*: en forma correcta tomaban uno o dos objetos cuando se les pedía, respectivamente, "un pez" o "dos peces", y agarraban una pila conteniendo más de dos objetos cuando se les pedía cualquier otro número. Algunos 3 meses más tarde, en promedio, los niños dominaron el significado de la palabra *tres*, mientras seguían respondiendo al azar con números mayores. Finalmente, algún tiempo después de la adquisición del *tres*, los niños parecían deducir el funcionamiento de la rutina de conteo y el significado de todas las palabras número. A partir de este punto, a los niños que se les pide cualquier número de objetos, dentro de su lista de conteo, darán ese número específico y usarán el conteo para hacerlo.

El desarrollo de la progresión observada en preescolares tiene sentido a la luz de las capacidades infantiles. En el punto más temprano del desarrollo de las palabras número y el conteo, sugiero que los niños aprenden a relacionar la palabra *uno* con su sistema nuclear para representar objetos: aprenden que *uno* se aplica justo en el caso en que hay un objeto en la escena, y es aproximadamente sinónimo del determinante *un*. Alrededor del mismo tiempo, los niños aprenden a relacionar las otras palabras número con su sistema nuclear para representar numerosidades: aprenden que las otras palabras número se aplican justo en los casos en que hay un conjunto en la escena, y aquellas palabras son todas aproximadamente sinónimas de *algunos* (ver también Bloom & Wynn, 1997). El siguiente y muy difícil escalón requiere que los niños reúnan sus representaciones de objetos y numerosidades. Tienen que aprender que *dos* se aplica justo en el caso en que hay un conjunto compuesto por un objeto y otro objeto. Cuando *dos* es dominado, los niños deben aprender que *tres* también se aplica a una combinación de representaciones de objetos y numerosidades: a un conjunto compuesto por un objeto, un objeto, y un objeto.

Una vez que este aprendizaje está completo, los niños están en posición de hacer dos inducciones generales. Primero, pueden descubrir que la progresión de *dos* a *tres* involucra la adición de un objeto al conjunto de objetos. Segundo, pueden generalizar este descubrimiento a todas las palabras número e inferir que cada palabra señala un conjunto que contiene un objeto más que la palabra precedente. El comportamiento de las palabras número en la sintaxis del lenguaje natural, así como su comportamiento en la rutina de conteo, puede apoyar esta generalización (Bloom & Wynn, 1997). El lenguaje de las palabras número y la rutina de conteo le permiten a los niños pequeños combinar sus representaciones de objetos, como individuos permanentes, con sus representaciones de numerosidades para construir un nuevo sistema de conocimiento numérico, en donde cada número distinto señala un conjunto de individuos con un valor cardinal distinto.

Por consiguiente, en la visión que estoy recomendando, los niños construyen el concepto de números naturales combinando las representaciones de dos sistemas nucleares: el sistema para representar objetos como individuos persistentes y el sistema para representar magnitudes numéricas aproximadas. Más específicamente, el sistema de objetos es la fuente para la comprensión infantil de que el número se aplica a individuos discretos y que los números pueden cambiar por adición de uno, y el sistema de numerosidades aproximadas es la fuente para la comprensión infantil de que el número se aplica a conjuntos y que los conjuntos pueden ser comparados de acuerdo a su valor cardinal. Las palabras número, la rutina de conteo, y la sintaxis del lenguaje natural, todas pueden apoyar esta combinación. De aquí puede seguir la comprensión infantil del concepto de números naturales, de la rutina de conteo, y de las operaciones aritméticas basadas en el conteo.

FUENTES DEL PENSAMIENTO MATEMÁTICO EN ADULTOS

Si esta imagen del conocimiento nuclear y el desarrollo cognitivo es correcta, entonces los conceptos numéricos maduros como 5 y 7 y el conocimiento aritmético maduro como 5 + 7 = 12 dependerán de la orquestación de tres sistemas: un sistema nuclear para representar números pequeños de objetos, un sistema nuclear para representar magnitudes numéricas aproximadas, y el lenguaje de palabras número y conteo verbal. Estos tres sistemas deberán estar activos en adultos cuando nos representamos números naturales y hechos aritméticos. ¿Lo están?

Primero consideremos el sistema nuclear para representar objetos. A lo largo de cien años, los psicólogos experimentales han propuesto que los adultos poseen un proceso especial para representar números muy pequeños de objetos simultáneamente y en paralelo: un sistema de *subitación*[1]. Trick y Pylyshyn (1994) han argumentado que éste es el mismo sistema que los adultos usan para el seguimiento de múltiples objetos, en base a la evidencia de que la subitación y el seguimiento de múltiples objetos son influenciados por los mismos estímulos y variables de prueba. Juntando estos hallazgos con los hallazgos de Scholl y Pylyshyn (1999) descritos más tempranamente anteriormente, tenemos alguna razón para pensar que el sistema nuclear para representar objetos encontrado en infantes juegue un rol en los juicios adultos sobre pequeñas numerosidades.

¿Qué hay del sistema nuclear para representar numerosidades grandes aproximadas? La reciente investigación de Intriligator (1997) provee evidencia de que la discriminación de grandes numerosidades aproximadas y el seguimiento de múltiples objetos se comportan en forma muy diferente en relación a los mismos estímulos y variables de prueba, proveyendo evidencia de que en adultos el sistema para representar grandes numerosidades aproximadas es distinto del sistema para representar pequeños números de objetos. No obstante, un gran cuerpo de trabajos, bellamente reseñados por Stanislas Dehaene (1997) en su libro, *The number Sense*, provee evidencia de que el sistema de grandes numerosidades aproximadas juega un rol importante en nuestras capacidades maduras para comparar números y realizar aritmética mental. Algo de esta evidencia proviene de estudios con adultos normales a los que se les pidió que operen con palabras número o numerales arábicos. Cuando a los adultos se les pide que comparen dos números, muestran un *efecto de distancia*, responden más rápido y precisamente cuando los números difieren por una cantidad mayor (por ejemplo, los adultos juzgan que 9 > 5 más rápidamente de lo que juzgan 6 > 5). Cuando a los adultos se les pide que verifiquen hasta dónde la respuesta a un problema de adición es correcta, muestran un *efecto de separación*, marcando las respuestas incorrectas más rápido y precisamente cuando estas respuestas distan más de la correcta (por ejemplo, los adultos juzgan que 5 + 7 no es 19 más rápidamente de lo que juzgan que no es 13).

Otra evidencia de que el sistema nuclear de-la numerosidad contribuye con las habilidades numéricas adultas proviene de estudios de pacientes neurológicos que muestran dos clases distintas de deterioro numérico (para una discusión, ver Dehaene & Cohen, 1997). Un tipo de pacientes muestra un deteriorada habilidad para representar números exactamente pero tiene intacto el sentido numérico: tales pacientes pueden fracasar en reportar que la suma de 5 + 7 es 12 pero tienen éxito al reportar que la suma es “cercana a 13”. Un diferente tipo de pacientes, típicamente con daños en el lóbulo parietal inferior, muestran un sentido numérico deteriorado pero preservan muchos hechos aritméticos exactos. Tales pacientes aun pueden contar a las corridas hechos como que 8 x 6 es 48 pero al rato muestran efectos de dis-

[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 “subitación” (normalmente 4 en adultos).

tancia o separación, y algunos incluso son incapaces de decir hasta dónde 8 es mayor que 6. A pesar de que hechos aritméticos aislados son preservados, los pacientes con el sentido numérico deteriorado demandan una gran dificultad con conceptos numéricos y matemáticas. Esta dificultad vívidamente testifica la importancia del sentido de magnitudes numéricas aproximadas para nuestras habilidades matemáticas ordinarias (Dehaene, 1997).

Estos hallazgos sugieren que las representaciones nucleares de objetos y las representaciones nucleares de magnitudes numéricas aproximadas juegan algún rol en nuestras habilidades numéricas adultas, pero, ¿qué hay del sistema numérico verbal? Cuando representamos grandes numerosidades exactas, ¿usamos las palabras número para combinar las representaciones entregadas por estos sistemas? Dos líneas recientes de investigación sugieren que la respuesta puede ser sí.

La primera investigación (Dehaene, Spelke, Pinel, Stanescu & Tsivkin, 1999) usó dos métodos de neuroimágen para comparar los patrones de la actividad cerebral producidas en adultos en dos tareas numéricas: una tarea que requiere representaciones numéricas exactas y una tarea que requiere representaciones numéricas aproximadas. En la tarea exacta, a los participantes se les dio un conjunto de problemas de adición simple en donde tenían que seleccionar la respuesta correcta entre una cercanamente errada: por ejemplo, 3 + 4 = 7 más que 5. En la tarea aproximada, a los participantes se les dio los mismos problemas de adición pero se les pidió que estimaran la respuesta, más que calcularla directamente, y luego eligieran una respuesta cercana entre una lejanamente errada: por ejemplo, 3 + 4 es casi 8 más que 2. En nuestro primer experimento, los participantes fueron examinados por medio de resonancias magnéticas funcionales (RMI_f) mientras realizaban las tareas exacta y aproximada en bloques separados, y la activación en los dos tipos de bloques fue comparada para determinar dónde los patrones de actividad neural eran mayores en una tarea más que en otra. La tarea aproximada mostró mayor actividad bilateral a lo largo de los lóbulos parietales inferiores, incluyendo las áreas que se piensa que están involucradas en las representaciones de objetos en las tareas de seguimiento de múltiples objetos y aquellas que se piensa que están involucradas en las representaciones de conjuntos en las tareas de discriminación numérica. En contraste, la tarea exacta mostró mayor activación en el lado izquierdo del lóbulo frontal inferior. El área de activación fue una que típicamente es activada en estudios que requieren la recuperación de hechos verbales bien aprendidos y las asociaciones verbales. En una repetición del estudio, que uso potenciales relacionados con eventos, se encontró que estos dos patrones de activación ocurren muy tempranamente en el procesamiento de problemas numéricos, mucho antes de que las respuestas aparezcan y los participantes elijan una contestación (Dehaene y col., 1999). Estos hallazgos sugieren que sistemas dependientes del lenguaje están involucrados en representaciones de adición exacta.

Más evidencia, de que los sistemas de conocimiento nuclear y el lenguaje de palabras número proveen las fuentes de nuestro pensamiento matemático, proviene de una serie final de estudios en adultos directamente inspirada por los estudios en infantes y conducida con Sanna Tsivkin y Gail o'Kane. Estos estudios se concentraron en adultos que hablan dos idiomas y se preguntaron cómo tales adultos se representan la nueva información numérica que aprendieron en uno de sus idiomas: ¿la información es representada en una forma que es específica de tal idioma, o es representada en una forma independiente del idioma?

Condujimos un número de estudios con bilingües de Ruso e Inglés (Dehaene y col., 1999; Spelke & Tsivkin, *en prensa*), pero describiré un estudio conducido con bilingües de Español e Inglés completado recientemente que se concentra en tres fuentes hipotéticas de nuestro conocimiento numérico (O'Kane & Spelke, datos sin publicar). Estos participantes bilingües aprendieron, durante unos días, a memorizar toda la información presentada en dos historias: una historia que aprendieron en Inglés y una historia diferente que aprendieron en Español. En estas historias habían hechos de varios tipos. Algunos de los hechos no tenían nada que ver con números; por ejemplo, los participantes podían aprender que a la heroína de una historia le encantaba usar esmeraldas y que al héroe de la otra historia le encantaba comer espárragos. Algunos de los hechos involucraban números pequeños de objetos;

volucraban números pequeños de objetos; por ejemplo, que la heroína tenía dos hermanas o que el héroe tenía tres maestros. Algunos de los hechos involucraban numerosidades grandes aproximadas; por ejemplo, que la madre del héroe le enseñó a cientos de estudiantes. Finalmente, algunos hechos involucraban numerosidades grandes exactas; por ejemplo, que nueve cofres del tesoro se perdieron en un naufragio. Durante el entrenamiento, los participantes aprendieron a identificar los hechos correctos respondiendo preguntas de dos respuestas (por ejemplo, ¿qué le encantaba usar a la heroína? esmeraldas vs. rubíes). Para los hechos de números pequeños, las dos alternativas estaban dentro del mismo sistema de números pequeños (¿cuántas hermanas tenía ella? dos vs. tres). Para los hechos de numerosidades grandes aproximadas, las dos alternativas siempre diferían en una relación 2:1 o mayor (¿a cuántos estudiantes enseñó la madre del héroe? cientos vs. miles). Para los hechos numéricos grandes exactos, la alternativa estaba cercanamente errada (¿cuántos cofres del tesoro se perdieron? 9 vs. 8).

Después que los participantes aprendieron todos los hechos en cada una de las dos historia, fueron probados en las dos historias en ambos idiomas. Para los hechos no numéricos, el desempeño fue independiente del idioma: los participantes que aprendieron sobre las esmeraldas en Español fueron igualmente rápidos y exactos en recuperar esta información cuando les era requerida en Español y en Inglés. Para los hechos sobre pequeños números de objetos y los hechos sobre grandes números aproximados, se obtuvo un patrón similar: los participantes recuperaron esta información igualmente bien cuando se la requería en los dos idiomas. Estos hallazgos sugieren que, cuando los participantes se representan nueva información sobre pequeños números de objetos o sobre numerosidades grandes aproximadas, son capaces de representar esta información en sistemas que son independientes del lenguaje.

Cuando los participantes fueron probados en hechos numéricos grandes exactos, en contraste, respondieron más rápidamente y más precisamente cuando se los requería en el idioma en que el hecho fue aprendido que cuando se los requería en el otro idioma. Estos hallazgos fueron obtenidos en los hechos aprendidos en Español y en los aprendidos en Inglés, y sugieren que la representación de grandes numerosidades exactas depende, en parte, de un idioma específico. Todos estos hallazgos concuerdan con la visión de que los números pequeños de objetos y las numerosidades grandes aproximadas están representados por sistemas nucleares independientes del lenguaje. En contraste, las numerosidades grandes exactas dependen de una combinación de representaciones de los sistemas nucleares, y el lenguaje de las palabras número puede servir para ligar estas representaciones juntas (ver Dehaene y col., 1999; y Spelke & Tsivkin, *en prensa*).

CONCLUSIONES

Mi excursión a través de los estudios en infantes, primates, niños aprendiendo a contar, y adultos con habilidades matemáticas, se centra en una propuesta específica y en una propuesta más general. La propuesta específica es que el funcionamiento cognitivo de todos estos grupos dispares puede ser comprendido, en parte, en términos de los mismos sistemas de conocimiento nuclear. Estos sistemas sirven para construir representaciones abstractas de rasgos básicos del mundo, incluyendo objetos y numerosidades, pero están limitados en tres aspectos: son de dominio específico, de tarea específica, y ampliamente independientes unos de otros. Me he concentrado en un sistema nuclear para representar objetos y en un segundo sistema nuclear para representar magnitudes numéricas aproximadas. Estos sistemas parecen existir tanto en infantes como en monos adultos, dominar los tempranos intentos de los niños pequeños por entender las palabras número y la rutina de conteo, y persistir en la adultez. Más aún, estos sistemas parecen servir como ladrillos para el desarrollo posterior de conceptos numéricos y habilidades de cálculo que los niños construyen y los adultos despliegan combinando representaciones provenientes de los dos sistemas nucleares.

Detrás de esta sugerencia específica hay una propuesta más general. Cuando los psicólogos cognitivos y educacionales se esfuerzan para comprender las habilidades cognitivas más complejas, debemos tomar una visión amplia y estudiar no solo a los adultos que han dominado las habilidades y a los niños que las están adquiriendo, sino también a los infantes y a otros animales. Aunque los niños pequeños y los animales no poseen estas habilidades, ambos exhiben mucho de los sistemas cognitivos que sirven como sus ladrillos.

La arquitectura de estos sistemas puede ser especialmente dócil de estudiar en infantes, donde aparecen en una forma relativamente pura, y en animales, donde pueden ser estudiadas en una rica serie de métodos conductuales y psicológicos.

Muchas de las más ricas y más complejas habilidades cognitivas adultas pueden montadas sobre sistemas de conocimiento nuclear. Por ejemplo, nuestro patrón únicamente humano de uso prolífico de herramientas y de construcción de herramientas puede depender de la orquestación de dos sistemas nucleares encontrados en infantes: el sistema para representar objetos que he discutido en este artículo y un sistema para representar personas y sus acciones intencionales dirigidas a metas que ha sido encontrado en infantes (por ej., Woodward, 1998) y en primates (por ej., Cheney & Seyfarth, 1990). Combinando las representaciones de estos sistemas, los niños pueden llegar a ver los artefactos como portadores de propiedades mecánicas y como productos de las intenciones humanas: representaciones que quedan bien establecidas durante los años preescolares (Bloom, 1996; Kelemen, 1999).

Como un segundo ejemplo, en otra parte he argumentado que nuestra propensión únicamente humana para navegar en forma flexible puede resultar de la orquestación del sistema para representar objetos con un sistema nuclear para representar la geometría de la disposición espacial (por ej., Hermer & Spelke, 1996; Hermer-Vazquez, Spelke & Katsnelson, 1999). Combinando las representaciones de estos sistemas, los niños pueden llegar a navegar no solo como lo hacen otros animales, mantenido su sentido de la orientación en una representación geométrica del entorno permanente, sino en modos más flexibles que nos permiten ir de un lugar a otro incluso cuando nuestro sentido de la orientación está perdido o cuando nos encontramos en ambientes novedosos. En estos y otros casos, los niños y adultos pueden ganar nuevas habilidades no creándolas de la nada, sino poniendo juntos ladrillos de sistemas de representación que han existido en nosotros desde la infancia. Al brindar luz sobre estos sistemas, los estudios en infantes pueden contribuir a la comprensión de algunos de los más grandes logros de los humanos adultos.

REFERENCIAS

Baillargeon, R. (1993). The object concept revisited: new directions in the investigation of infants' physical knowledge. In C. E. Granrud (Ed.), *Carnegie-Mellon Symposia on Cognition: Vol. 23. Visual perception and cognition in infancy* (pp. 265-315). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Barth, H., Kanwisher, N., & Spelke, E. (2000). *Construction of large number representations in adults.* Manuscript submitted for publication.

Bloom, P. (1996). Intention, history, and artifact concepts. *Cognition, 60,* 1-29.

Bloom, P., & Wynn, K. (1997). Linguistic cues in the acquisition of number words. *Journal of Child Language, 24,* 511-533.

Bower, T. G. R. (1966). The visual world of infants. *Scientific American, 215,* 80-92.

Boysen, S. T., & Capaldi, T. (1993). *The development of numerical competence: Animal and human models.* Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Butterworth, B. (1999). *What counts: How every brain is hard wired for math.* New York: Free Press.

Cheney, D., & Seyfarth, R. (1990). *How monkeys see theworld.* Chicago: University of Chicago Press.

Chiang, W.-C., & Wynn, K. (in press). Infants' tracking of objects and collections. *Cognition.*

Clearfield, M. W., & Mix, K. S. (1999). Number versus contour length in infants' discrimination of small visual sets. *Psychological Science, 10,* 408-411.

Dehaene, S. (t997). *The number sense: How the mind creates mathematics.* Oxford, England: Oxford University Press.

Dehaene, S., & Cohen, L. (1997). Cerebral pathways for calculation: Double dissociations between Gerstmann's acalculia and subcortical acalculia. *Cortex, 33,* 219-250.

Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, E, Stanescu, R., & Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain-imaging evidence. *Science, 284,* 970-974.

Feigenson, L., Carey, S., & Hauser, M. (2000). *Ten- and 12-month-old infants' ordinal representation of number.* Poster presented at International Conference on Infant Studies, Brighton, England.

Feigenson, L., Carey, S., & Spelke, E. S. (2000). *Infants' discrimination of number and continuous extent.* Manuscript submitted for publication.

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.

Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of counting.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Griffin, S., & 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., & 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, & Ware, M. (1996). Numerical representations in primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 93,* 1514-1517.
Hermer, L., & Spelke, E. S. (1996). Modularity and development: The case of spatial reorientation. *Cognition, 61,* 195-232.
Hermer-Vasquez, L., Spelke, E. S., & Katsnelson, A. S. (1999). Sources of flexibility in human cognition: Dual-task studies of space and language. *Cognitive Psychology, 39,* 3-36.
Huntley-Fenner, G., & Carey, S. (2000). *Infant representations of objects and noncohesive substances.* Manuscript submitted for publication.
Intriligator, J. (1997). The spatial resolution of visual attention. Unpublished doctoral dissertation, Harvard University.
Jusczyk, P. (1997). *The discovery of spoken language.* Cambridge, MA: MIT Press.
Kelemen, D. (1999). The scope of teleological thinking in preschool children. *Cognition, 70,* 241-272.
Koechlin, E., Dehaene, S., & Mehler, J. (1998). Numerical transformations in five-month-old human infants. *Mathematical Cognition, 3,* 89-104.
Lipton, J., & Spelke, E. S. (2000). *Infants' discrimination of large numbers of sounds.* Unpublished manuscript.
Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets: Evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision, 3,* 179-197.
Scholl, B. J., & Leslie, A. M. (1999). Explaining the infant's object concept: Beyond the perception/cognition dichotomy. In E. Lepore & Z. Pylyshyn (Eds.), *What is cognitive science?* (pp. 26-73). Oxford, England: Basil Blackwell.
Scholl, B. J., & Pylyshyn, Z. W. (1999). Tracking multiple items through occlusion: Clues to visual objecthood. *Cognitive Psychology, 38,* 259-290.
Scholl, B. J., Pylyshyn, Z. W., & Feldman, J. (in press). What is a visual object? Evidence from target merging in multiple-object tracking. *Cognition.*
Simon, T. J., Hespos, S. J., & Rochat, E (1995). Do infants understand simple arithmetic? A replication of Wynn (1992). *Cognitive Development, 10,* 253-269.
Spelke, E. S., & Tsivkin, S. (in press). Initial knowledge and conceptual change. In M. Bowerman & S. Levinson (Eds.), *Language acquisition and conceptual development.* Cambridge, England: Cambridge University Press.
Spelke, E. S., & Van de Walle, G. (1993). Perceiving and reasoning about objects: Insights from infants. In N. Eilan, R. McCarthy, & W. Brewer (Eds.), *Spatial representation* (pp. 132-161). Oxford, England: Basil Blackwell.
Starkey, R, & Cooper, R. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science, 210,* 1033-1035.
Trick, L., & 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., & Prevor, M. (in press). The use of kind distinctions for object individuation: Evidence from manual search. *Journal of Cognition and Development.*
Woodward, A. L. (1998). Infants selectively encode the goal object of an actor's reach. *Cognition, 69,* 1-34.
Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition, 36,* 155-193.
Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature, 358,* 749-750.
Wynn, K. (1998). Psychological foundations of number: Numerical competence in human infants. *Trends" in Cognitive Sciences, 2,* 296-303.
Xu, E, & 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, & Spelke, E. S. (2000b). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition, 74, B 1-B 11.*