



Calibrando la Línea Numérica Mental: Evidencias desde el Desarrollo Típico y Atípico

Danilka Castro Cañizares & Vivian Reigosa-Crespo

Departamento de Neurocognición Escolar, Centro de Neurociencias de Cuba. Ciudad de la Habana, Cuba.

Correspondencia: Dra. Vivian Reigosa Crespo, Centro de Neurociencias de Cuba. Ave. 25 Esq. 158. Rpto Cubanacán. Playa. Ciudad de La Habana. Cuba. Correo electrónico: vivianr@cneuro.edu.cu

Resumen

En este estudio se evaluó la interfaz entre los sistemas aproximado y exacto de procesamiento numérico en un grupo de 30 niños con desarrollo típico de las habilidades aritméticas (DT) y en un grupo de 24 niños con Discalculia del Desarrollo (DD). Para ello se utilizó una tarea de estimación no calibrada en la cual los niños debían estimar la cantidad de un conjunto de puntos mostrado durante un intervalo de tiempo breve y una tarea de estimación calibrada donde se presentaba sistemáticamente un inductor, es decir, un conjunto y simultáneamente el número arábigo ('30') que representaba la cantidad de elementos del conjunto. No se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos en la ejecución de la tarea de estimación no calibrada. Ambos mostraron una tendencia general a la subestimación así como la *propiedad de la variabilidad escalar* en sus estimaciones. Sin embargo, en la tarea de estimación calibrada los niños con DT ajustaban mejor sus respuestas a la numerosidad real del conjunto mientras que los niños con DD no lo hacían. El valor de la Fracción de Weber, mejoró significativamente en la tarea calibrada respecto a la no calibrada en los niños con DT pero no en los niños con DD. Se concluye que la estimación sigue, en los niños con desarrollo típico y atípico de las habilidades numéricas, los mismos principios y regularidades observados en el adulto y que hay un déficit en la interfaz entre los sistemas analógico y verbal en los niños con DD.

Palabras clave: Estimación, Fracción de Weber, línea numérica mental, sistema aproximado, sentido del número, sistema verbal, discalculia del desarrollo.

Approximate System and the Exact System of Quantity Processing: Typical and Atypical Development Evidence

Summary

The interface between the approximate system and the exact system of quantity processing was examined in 30 children with typical development of arithmetical skills (TD) and 24 children with Developmental Dyscalculia (DD). Both groups were assessed with a non-calibrated estimation task in which the children were asked to estimate the numerosity of dot sets presented briefly. Subsequently, they were evaluated with a calibrated estimation task in which an inductor was systematically presented at the beginning of each block of the stimuli. The inductor consisted in an Arabic number ('30') presented simultaneously with the corresponding set of dots. There were no significant differences between TD and DD children in the non-calibrated task. Both groups showed a tendency to underestimate the numerosities and the *property of scalar variability* was also observed in the estimation responses in both groups. However, the TD group exhibited more adjusted estimations in the calibrated task respect to the non-calibrated task. Consequently, in the TD group the Weber Fraction -a measure of acuity of mental representation of quantities- improved significantly in the calibrated task respect to non-calibrated task. These effects were not systematically found in the DD group. We conclude that the estimation processing in the typical and atypical development follows the same principles and laws than the estimation in the adult. Therefore, in the DD the approximate system of quantities processing seems to be preserved but a failure occurs in the interface between both systems (approximated and verbal).

Key words: Estimation, Weber Fraction, mental number line, approximated system, number sense, verbal system, developmental dyscalculia.

Introducción

De acuerdo con los modelos actuales sobre cognición numérica existen dos sistemas disociables para representar la información proveniente de los números: un sistema de cantidades aproximadas análogo a una línea numérica mental y un sistema verbal capaz de representar los números exactamente (Dehaene, 1997). Se ha planteado que en el sistema de cantidades aproximadas se representa la numerosidad como una magnitud mental fluctuante, similar a una "línea numérica", la cual es compartida por los diferentes tipos de modalidades sensoriales (Butterworth et al., 1999; Dehaene, 1997; Halberda, Mazocco, & Feigenson, 2008; Izard & Dehaene, 2007; Paterson, 2001; Udwin, Davies, & Hosslyn, 1996). Evidencias provenientes de experimentos realizados en niños muy pequeños apoyan el supuesto del carácter inherente y congénito de este sistema no-verbal (*sentido del número*), el cual es el responsable de representar las cantidades de manera analógica y aproximada (Dantzig, 1967; Dehaene). Así, Ostad (1999) reporta que las discriminaciones numéricas que realizan estos niños son imprecisas y están sujetas a un límite de proporción: los niños de seis meses pueden discriminar exitosamente cantidades en la proporción 1:2 (e.j. 8 vs. 16 y 16 vs. 32), pero fallan al comparar cantidades en la proporción 2:3 (e.j. 8 vs. 12 and 16 vs. 24). Sin embargo, los niños de 10 meses pueden discriminar conjuntos con ambas proporciones lo cual demuestra que la

discriminación numérica se hace más precisa durante el desarrollo (Xu & Arriaga, 2007). Otra característica distintiva del procesamiento numérico en la infancia temprana, es que los niños fallan en sus juicios numéricos en tareas que conservan las proporciones antes mencionadas pero que utilizan numerosidades muy pequeñas, por ejemplo, 1 vs. 2, 2 vs. 4 y 2 vs. 3 (Kosc, 1974).

Los adultos también utilizan el sentido del número para representar las numerosidades grandes de manera analógica y aproximada (Badian, 1983; Barth, Kanwisher, & Spelke, 2003; Barth, et al., 2006; Butterworth, 1999; Butterworth et al., 1999; Cordes, Gelman, & Gallistel, 2001; Dehaene, 2001; Gallistel & Gelman, 2000; Whalen, Gallistel, & Gelman, 1999). Sin embargo, a diferencia de los niños pequeños, los adultos pueden discriminar entre conjuntos con proporciones tan pequeñas como 7:8 (Badian; Gross-Tsur & Manor, 1996). Otros estudios muestran que en tareas de estimación, en las que hay que hacer uso de este sistema aproximado, las estimaciones siguen una tendencia a la subestimación del valor real (Indow & Ida, 1977; Izard & Dehaene, 2007; Krueger, 1982, 1984; Minturn & Reese, 1951) y además, pueden estar moduladas por los parámetros no-numéricos de los estímulos como la densidad, el área ocupada en pantalla, entre otros (Ginsburg, 1978; Hollingsworth, Simmons, Coates, & Cross, 1991; Izard & Dehaene). En adición a la tendencia general a la subestimación, las respuestas siguen un patrón de variabilidad: mientras mayor es la numerosidad, mayor es la dispersión de las respuestas (Krueger; Logie & Baddeley, 1987). Esta característica de las respuestas se conoce como Propiedad de la Variabilidad Escalar (Whalen et al., 1999): la media y la

desviación estándar de las respuestas aumentan de manera proporcional con el aumento de la numerosidad, de manera tal que el coeficiente de variación (CV: desviación estándar/media) permanece constante entre todas las numerosidades. Esta propiedad ha sido confirmada en varios estudios (Izard & Dehaene, 2007; Whalen et al.).

Una vez que el lenguaje es adquirido, los humanos desarrollan (en un contexto cultural apropiado), la habilidad de representar numerosidades de forma simbólica, primero usando numerales y luego los dígitos arábigos (Dehaene & Marques, 2002; Gallistel & Gelman, 2005; Moyer & Landauer, 1967; Spelke & Tsivkin, 2001), lo cual les permite el acceso a un nuevo nivel de competencia para la aritmética exacta. Al parecer, el dominio creciente de un sistema numérico simbólico influye en el perfeccionamiento de las destrezas adquiridas anteriormente para el manejo de las cantidades numéricas no simbólicas. Los resultados obtenidos por Pica, Lemer, Izard y Dehaene (2004), ofrecen evidencias que sustentan esta hipótesis. Ellos presentaron una tarea no simbólica de estimación de cantidades a adultos escolarizados y a adultos provenientes de una tribu amazónica -los Mundurucu- que no poseen palabras para denominar cantidades por encima de cinco. Encontraron que los adultos escolarizados tuvieron respuestas más precisas o sea más cercanas a la numerosidad real de los conjuntos presentados que los adultos provenientes de la tribu del Amazonas. Otros estudios muestran evidencias de que es posible "calibrar" las representaciones mentales numéricas en la línea mental a partir del uso de la información simbólica del número, lo cual apoya la existencia de una interfaz entre ambos sistemas

(aproximado y verbal). Así, se ha observado una disminución de la variabilidad en las respuestas y una mejoría significativa de la precisión de las estimaciones cuando durante una tarea de estimación no simbólica, se ofrece a los sujetos alguna información simbólica acerca de las numerosidades que debe estimar (Izard & Dehaene, 2007; Krueger, 1984; Lipton & Spelke, 2005; Whalen et al., 1999).

Sin embargo, la cuestión acerca de cómo trabaja esta interfaz no ha sido sistemáticamente investigada en la cognición numérica adulta y, hasta donde conocemos, las aportaciones son mucho más escasas en lo referente a cómo evoluciona durante el desarrollo típico la conexión entre el sentido del número y las habilidades adquiridas paulatinamente en el manejo de los símbolos numéricos. En estos momentos se encuentran sin respuesta preguntas tales como: ¿Cuán rápido puede ocurrir el proceso de calibración? ¿Cuánta información se necesita? ¿Es la calibración un proceso global o local? Una posibilidad es que la retroalimentación que se ofrece para una numerosidad ejerza solo una influencia local, modificando el mapeo solo dentro de un pequeño intervalo alrededor de la numerosidad de referencia. Alternativamente, la calibración podría ser un proceso global, de forma que al ofrecer retroalimentación en solo una numerosidad, se afecten los estimados de todas las numerosidades.

Tampoco ha sido abordado el estudio de esta interfaz durante el desarrollo atípico de la cognición numérica que conduce a la Discalculia del Desarrollo (DD). Varias teorías cognitivas actuales sobre la DD sostienen que el origen de este trastorno está en un déficit en uno de los sistemas

representacionales descritos anteriormente: en el sistema análogo -hipótesis del "sentido del número" (Dehaene, 1997; 2001)- o en el sistema verbal -hipótesis del "módulo numérico defectuoso" (Butterworth, 1999; Butterworth & Reigosa-Crespo, 2007); o en la conexión entre ambos sistemas (Rousselle & Noël, 2007; Wilson & Dehaene, 2007). Estas teorías parten del supuesto de que sutiles deficiencias en los núcleos centrales de representación numérica, o en la integración entre estos, pueden generar una cascada de nuevos déficits en el desarrollo de competencias de alto-nivel como la adición y la multiplicación (Karmiloff-Smith, 1998). A partir de esta idea, el estudio de la interrelación entre los sistemas representacionales en la DD, permitiría explicar las deficiencias en las representaciones numéricas básicas y cómo estas generan el desarrollo de un sistema numérico desviado (Butterworth, Zorzi, Girelli, & Jonckheere, 2001; Karmiloff-Smith).

Por tanto, el objetivo de este estudio es caracterizar la interfaz entre los sistemas de representación numérica no-verbal y verbal, en niños con desarrollo típico del procesamiento numérico y niños con DD. Para ello se utilizaron dos tareas de estimación de numerosidades. Una tarea de estimación no calibrada en la cual los niños debían estimar la cantidad de un conjunto de puntos mostrado durante un intervalo de tiempo breve y una tarea de estimación calibrada donde se presentaba sistemáticamente un inductor, es decir, un conjunto y simultáneamente el número arábigo que representaba la cantidad de elementos de dicho conjunto.

De acuerdo con las características del proceso de estimación en el adulto descritas anteriormente, se espera que los

niños con un desarrollo normal, produzcan estimados no calibrados imprecisos, con una tendencia sistemática a la subestimación; pero que la precisión de sus respuestas se incremente cuando reciban información (inductor) sobre alguna de las numerosidades presentadas. Adicionalmente, se espera que las respuestas de los sujetos sigan las leyes psicofísicas establecidas para las tareas de estimación: la media de las respuestas forme una función exponencial con la numerosidad (Krueger, 1989) y la variabilidad de las respuestas cumpla con la propiedad de Variabilidad Escalar (Dehaene & Marques, 2002; Whalen et al., 1999).

En los niños con DD se podría esperar que, si existe un déficit focalizado en la interfaz entre ambos sistemas de representación numérica, ellos producirán estimaciones similares a los controles en la tarea no calibrada, pero la retroalimentación en la tarea calibrada no tendrá ningún efecto sobre sus estimaciones. Sin embargo, en ellos se podrá observar un comportamiento similar de las regularidades psicofísicas esperadas para la estimación respecto a los niños con desarrollo típico. Si por el contrario, el déficit se encuentra en los sistemas de representación numérica en sí mismos, entonces ellos producirían estimaciones más imprecisas que los controles en la tarea de estimación no calibrada y la precisión de sus respuestas no mejorará con la presentación del inductor en la tarea de estimación calibrada. En este caso, sus estimaciones tampoco seguirían las regularidades psicofísicas esperadas

Método

Participantes y procedimiento

A partir de un grupo de 226 niños provenientes de escuelas primarias urbanas se seleccionó la muestra del estudio la cual estuvo conformada por 54 niños que cursaban sexto grado. Treinta niños (19 Varones) formaron el grupo con desarrollo típico (DT) de las habilidades numéricas: ($M=1.74$ años, $DE=0.36$), mientras que 24 niños (17 Varones) formaron el grupo con DD ($M=11.48$ años, $DE=0.33$). Los niños pertenecientes a ambos grupos obtuvieron puntajes entre el 50 y el 95 percentil en el Test de Matrices Progresivas Coloreadas (TMPC) (Raven, Court, & Raven, 1992).

A los 226 niños inicialmente se les aplicó el TMPC y los que obtuvieron puntajes entre el 50 y el 95 percentil fueron entonces evaluados con el subtest de Aritmética Mental de la Batería Numérica Básica desarrollada por Reigosa y colaboradores (Reigosa-Crespo et al., 2011) (ver descripción en el apartado 2.2). Los niños que tuvieron una ejecución 2 desviaciones estándar (DE) por debajo de la media en una medida de eficiencia total obtenida a partir del test de Aritmética Mental fueron incluidos en el grupo DD, mientras que el grupo DT incluyó niños con un rendimiento en este subtest dentro de 1.5 DE por encima de la media. Ambos grupos realizaron posteriormente dos tareas experimentales: una tarea de estimación no calibrada y otra de estimación calibrada. A todos se les administró primero la no calibrada y en un segundo momento la calibrada. La evaluación fue realizada en una habitación iluminada y tranquila en la escuela.

Material

Tests estandarizados

- Test de Matrices Progresivas Coloreadas (TMPC)
- Test de Aritmética Mental

Es un test computadorizado con control del tiempo de reacción (TR) en el cual se incluye 15 adiciones simples, 15 sustracciones y 15 multiplicaciones presentadas por separado en tres bloques. Se dan dos ensayos como entrenamiento antes de comenzar cada bloque. Todas las operaciones se realizan con números de un sólo dígito (1 al 9). Los ítems fueron presentados en pantalla en la forma "2 + 4". Se le pide al niño dé el resultado lo más rápido que pueda tratando de no cometer errores. Para dar el resultado el niño utiliza las teclas del bloque numérico situado a la derecha del teclado alfanumérico. El TR queda guardado cuando presiona la tecla correspondiente al número calculado. Todas las respuestas, tanto correctas como incorrectas son guardadas.

Las medianas del TR obtenidas para cada operación aritmética (adición, sustracción y multiplicación) fueron sustraídas por la mediana del TR simple obtenida en un test de Tiempo de Reacción Simple que se describe abajo. Este procedimiento permitió ajustar los TR por operación a la variabilidad individual en la velocidad de procesamiento (TRajus). De manera similar al procedimiento descrito por Landerl, Bevan y Butterworth (2004) fue utilizado el TRajus y la proporción de aciertos para calcular una medida de eficiencia (ME) por operación ($ME = TR_{ajus} / \text{aciertos}$). Se hizo de esta manera porque es conocido que los niños con dificultades en la aritmética tienden a adoptar estrategias que producen generalmente respuestas precisas pero con latencias extremadamente largas (ver, Jordan & Montani, 1997) o simplemente adivinan

rápidamente produciendo respuestas incorrectas pero de latencia corta. Nótese que ME es una medida inversa, mientras mayor sea el valor que tome más ineficiente es la ejecución. Se obtuvo una ME por operación. La media de las tres ME fue utilizada como una medida global de eficiencia en el test de Aritmética Mental.

Los niños que rinden por debajo de 2 *DE* en esta medida global son clasificados como DD. Un largo cuerpo de evidencias apoya el uso de la aritmética mental como prueba de rendimiento aritmético. Se conoce el rol de la velocidad en el cálculo básico en la resolución de la mayoría de los problemas matemáticos (Goldman & Pellegrino, 1987; Hasselbring, Goin, & Bransford, 1988; Gersten, Jordan, & Flojo, 2005). Además existe consenso respecto a considerar el déficit en la fluidez en el cálculo como un rasgo distintivo de los niños con DD (Jordan & Montani, 1997; Barnes et al., 2006).

- Test de Tiempo de Reacción Simple
Algunos niños son relativamente lentos para presionar teclas en respuesta a un estímulo. Este test fue diseñado para evaluar esto. La medida obtenida a partir de su aplicación puede ser considerada como una medida basal de la velocidad de procesamiento del individuo. En este estudio fue utilizada para ajustar los TR obtenidos en el test de Aritmética Mental por tanto ella no fue analizada en sí misma. En el test se le pide al niño que presione la barra espaciadora tan rápido como vea aparecer un cuadrado en el centro de la pantalla. El tiempo de presentación inter-estímulo fue variable (500-1500 msec). Se presentan 20 ensayos precedidos de 5 ensayos que

son utilizados como entrenamiento en la tarea.

Tareas experimentales

Las tareas experimentales son una variante de las tareas de estimación propuestas por Izard y Dehaene (2007).

- Tarea de Estimación No Calibrada.
Se mostraron en pantalla, durante 1000 mseg, conjuntos con 19 numerosidades diferentes (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100). Los estímulos fueron puntos amarillos sobre fondo negro (ver Figura 1a). Para prevenir que al estimar las numerosidades, los sujetos usaran estrategias basadas en variables continuas de bajo nivel (perceptuales), se generaron tres sets de conjuntos con diferentes controles perceptivos: tamaño de los puntos, área total ocupada en pantalla y densidad respectivamente (para más detalles, ver Izard & Dehaene, 2007).

Los sujetos debían estimar la numerosidad de los conjuntos presentados, las instrucciones no incluían ningún valor numérico. Las respuestas se tecleaban en formato arábigo en un cuadro que aparecía en la

parte inferior de la pantalla inmediatamente después de la presentación del conjunto. Cada sujeto participó en dos sesiones de 171 ítems cada una, distribuidos en 6 bloques de 57 ítems, cada conjunto fue presentado 9 veces. Las sesiones tuvieron una duración de aproximadamente 30 minutos.

- Tarea de Estimación Calibrada.
Los estímulos y la forma de recoger las respuestas fueron los mismos empleados en la tarea descrita anteriormente. Los sujetos debían estimar la numerosidad de los conjuntos. Sin embargo en esta tarea las respuestas fueron restringidas de la siguiente forma: a las numerosidades que se considerasen menor que 10, los sujetos podían responder de manera exacta, es decir, con números del 1 al 10, pero a las consideradas por encima de 10, solo podía responderse con las decenas. Al inicio de cada bloque se presentó un estímulo inductor que consistía en la presentación simultánea de un conjunto de 30 puntos y su correspondiente número arábigo “30” en la parte superior de la pantalla (ver Figura 1b).

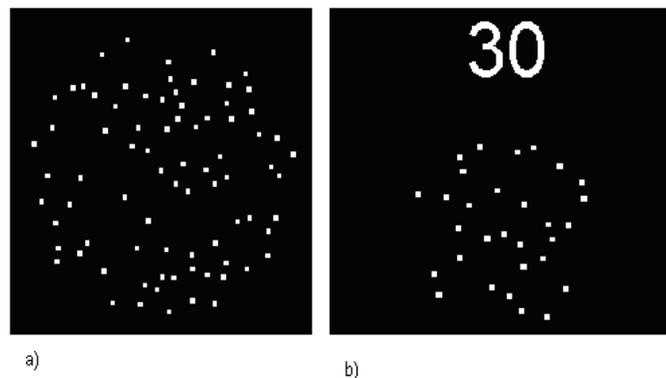


Figura 1. Estímulos presentados en las tareas experimentales. a) numerosidades a estimar en ambas tareas (calibrada y no calibrada) y b) Inductor para la tarea calibrada.

Análisis Estadístico

En primer lugar, se analizó si los datos cumplían con las leyes psicofísicas establecidas para las tareas de estimación de numerosidades, y de esta forma obtener una descripción de esta habilidad numérica básica (estimación de numerosidades) en el desarrollo típico y atípico de la cognición numérica. Para ello, se realizaron los siguientes análisis con los datos de la tarea de estimación no calibrada:

- Regresión lineal entre la media de las respuestas y la numerosidad para evaluar la linealidad entre la numerosidad y las estimaciones.
- Regresión lineal entre el Coeficiente de Variación ($CV = DE$ de las respuestas / M de las respuestas) como variable dependiente y la numerosidad real de los conjuntos como variable independiente para testar la Ley de la Variabilidad Escalar. Se calculó el CV de cada sujeto para las numerosidades a partir de 30.
- Regresión log-log entre la DE y la M de las respuestas para testar más estrictamente la Ley de la Variabilidad Escalar.

En segundo lugar se evaluó comparativamente (grupo DT y grupo DD), el desarrollo de la interfaz entre el sistema de cantidades aproximadas y el sistema verbal de representación exacta de las cantidades. Con este fin se ejecutaron los siguientes análisis:

- ANOVA de medidas repetidas donde se definió como factor intra-grupo las medias de las cantidades estimadas cuando fueron presentados los conjuntos con numerosidad 30 en la tarea no calibrada y en la calibrada y como factor inter-grupo la pertenencia al grupo DT o al grupo DD.

- Cálculo de la Fracción de Weber: La fracción de Weber (w) es una medida psicofísica que se refiere al cambio que debe ocurrir en la magnitud de un estímulo para que este pueda ser percibido como diferente de otro (Halberda & Feigenson, 2008). En el caso del procesamiento numérico, esta medida se emplea para calcular la menor distancia numérica necesaria para que dos cantidades logren ser diferenciadas. Así, la w evalúa la cantidad de error que subyace a la representación mental en cada numerosidad (Halberda et al., 2008) por tanto puede ser considerada una medida confiable de la precisión de dicha representación mental. Mientras menor es su valor esta será más “precisa”. Para calcular w se siguió el procedimiento descrito por Bruandet, Molko, Cohen y Dehaene, (2004). Se obtuvieron entonces los valores de w individuales en cada tarea (no calibrada/calibrada). Se realizó un ANOVA de medidas repetidas donde se definió como factor intra-grupo las w obtenidas para las tareas no calibrada y calibrada y como factor inter-grupo la pertenencia al grupo DT o al grupo con DD.

Resultados

- *Características de la estimación de numerosidades en el desarrollo típico y atípico.*

En ambos grupos (DT y DD) los sujetos subestimaron las numerosidades de los conjuntos presentados (numerosidad real: $M = 55$, $DE = 27.93$; DT: M de las respuestas = 37.65, $DE = 25.44$; DD: M de las respuestas = 42.27, $DE = 29.44$). No obstante, sus respuestas permanecieron

consistentes: las respuestas se incrementan linealmente con la numerosidad en todo el rango de numerosidades consideradas (las pendientes en la regresión lineal entre la media de las respuestas y la numerosidad fueron: DT: 0.55 y DD: 0.53, ambas significativamente diferentes de 0, $p < .001$).

Para comprobar el comportamiento de la Ley de Variabilidad Escalar se examinaron los niveles de ajuste de los modelos de regresión lineal calculados usando los CV como variable dependiente y numerosidad del conjunto como variable independiente. Se encontró un ajuste pobre de los dos modelos calculados ($R^2 = .013$ y $.002$ para DT y DD respectivamente) lo cual indica que los CV se mantienen constantes al variar la numerosidad. Un análisis de las pendientes de ambos modelos muestran que estas no son significativamente diferentes de 0 ($.0005$ y $.00009$ para DT y DD, respectivamente) lo cual muestra la independencia que tienen los CV de la numerosidad de los conjuntos.

Una segunda forma de probar el comportamiento de la Ley de Variabilidad Escalar es testando la estricta linealidad entre la *DE* y la *M* de las respuestas mediante un análisis de regresión log-log. La variabilidad escalar se verifica si los log de la *DE* y los log de la *M* de las respuestas forman una línea recta con una pendiente de 1, lo cual indicaría que la relación entre la *DE* y la *M* es una función exponencial más compleja. Se encontró que en ambos grupos las pendientes no fueron significativamente diferentes de 1 (1.13 y 1.03 para DT y DD, respectivamente). Por tanto se verifica en ambos grupos la propiedad de variabilidad escalar.

• *Comportamiento de la interfaz entre el sistema de cantidades aproximadas y el*

sistema verbal de representación exacta de las cantidades en el desarrollo típico y atípico

El ANOVA realizado (ver sección 2.4 para descripción del modelo) mostró efecto de tarea: $F(1, 39) = 10.708$, $p < .01$. Las estimaciones en la tarea calibrada estuvieron significativamente más próximas a la numerosidad real que las de la tarea no calibrada (M : 54.54 y 49.98 para tarea no calibrada y calibrada, respectivamente). Sin embargo no se observó un efecto significativo de grupo, aunque sí una interacción significativa entre tarea y grupo: $F(1, 39) = 4.7996$, $p < .05$. Las comparaciones planificadas muestran que para el grupo DT hay diferencias significativas entre la *M* de las respuestas en la tarea no calibrada respecto a la calibrada (M : 56.65 y 41.88, tarea no calibrada y calibrada, respectivamente; $p < .001$) mientras que en el grupo DD las *M* de las respuestas en ambas tareas no son significativamente diferentes. Estos datos parecen indicar que el inductor de calibración no tuvo efecto sobre la estimación de sus respuestas. Como puede observarse en la Figura 2, no se hallaron diferencias significativas entre ambos grupos en la tarea no calibrada, pero sí en la tarea calibrada, aunque dicha diferencia fue marginalmente significativa (M : 41.88 y 48.93, grupo DT y DD, respectivamente; $p = .056$).

El ANOVA realizado con los valores de la Fracción de Weber (ver sección 2.4 para descripción del modelo) mostró efecto de la tarea: $F(1, 388) = 7.6899$, $p < .001$, siendo menores los valores de la tarea calibrada (no calibrada M : 0.29, DE : 0.13; calibrada: M : 0.27, DE : 0.11). También se observó efecto significativo de grupo: $F(1, 388) = 7.9672$, $p < .001$. La w fue mayor en el grupo DD que en el grupo DT ($w = 0.26$ y

0.29 para DT y DD, respectivamente). No hubo interacción entre tarea y grupo, aunque las comparaciones planificadas muestran diferencias entre los grupos. En el grupo DT la w fue significativamente diferente entre las tareas (no calibrada $M= 0.29$, $DE= 0.13$; calibrada: $M= 0.25$, $DE= 0.10$; $p < .05$), demostrando el efecto del inductor en las respuestas, sin embargo, en

el grupo DD, los valores no son significativamente diferentes entre las tareas (no calibrada $M= 0.30$, $DE= 0.12$; calibrada: $M= 0.28$, $DE= 0.11$). Al analizar las diferencias entre los grupos, como puede observarse en la Figura 3, no se hallaron diferencias significativas entre ambos grupos en la tarea no calibrada, pero sí en la tarea calibrada ($p < .001$).

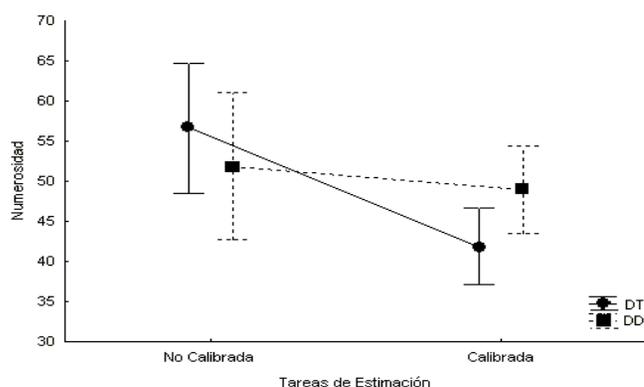


Figura 2. Efecto de la tarea (no calibrada vs. calibrada) en cada grupo.

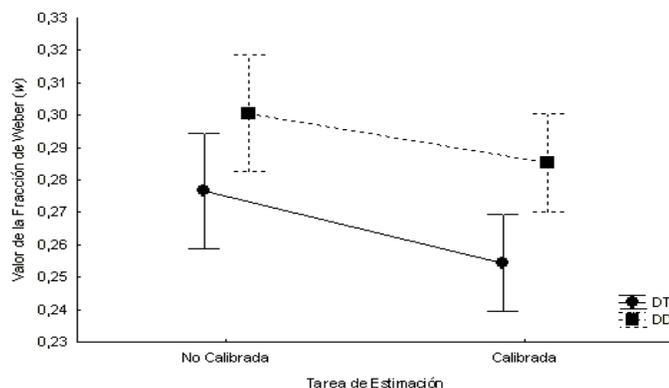


Figura 3. Comportamiento de la Fracción de Weber por tarea (no calibrada vs. calibrada) en cada grupo.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la estimación como proceso que involucra fundamentalmente al sistema aproximado de las cantidades

sigue en los niños con desarrollo típico los mismos principios y regularidades observados en el adulto, es decir, la tendencia general a la subestimación así como la conservación de la propiedad de la

variabilidad escalar. Esta evidencia apoya el carácter inherente y congénito del procesamiento aproximado de las magnitudes numéricas en la especie humana. Por otra parte, la funcionalidad de este sistema parece estar conservada en niños que presentan un desarrollo atípico en sus habilidades numéricas puesto que el proceso de estimación en los niños con DD también siguió estrictamente las regularidades mostradas por los niños con desarrollo típico y las mostradas por los adultos referidas en estudios anteriores.

Adicionalmente, este estudio permitió estudiar la interfaz -en el desarrollo típico y atípico- entre el sistema de representación numérica aproximada y el sistema verbal al evaluar el efecto de un inductor verbal sobre la precisión de las estimaciones en los niños con y sin DD. Los resultados en el desarrollo típico, muestran que al realizar estimados no calibrados los niños subestiman sistemáticamente la numerosidad real pero una vez que se introduce el inductor verbal ellos logran calibrar o sintonizar las estimaciones ajustándolas a la numerosidad real. Esto se confirma al analizar el comportamiento de la Fracción de Weber la cual disminuye significativamente durante la realización de la tarea calibrada respecto a la no calibrada. Es decir, la presencia de un inductor parece tener un efecto directo sobre la sintonía o precisión de las representaciones numéricas en la línea mental. Resultados similares han sido reportados en adultos (Izard & Dehaene, 2007; Krueger, 1984; Minturn & Reese, 1951).

Significativamente los niños con DD no lograron un ajuste de sus respuestas con la presencia del inductor verbal. Esto se confirma al analizar el comportamiento de la

Fracción de Weber la cual no disminuye significativamente ante esta manipulación demostrando que, efectivamente, el inductor no logra sintonizar las representaciones mentales de las cantidades en la línea mental. Este resultado favorece la hipótesis del déficit en la “conexión” o interfaz entre ambos sistemas (analógico y verbal) en los niños que presentan DD. Esta hipótesis ha sido sustentada por evidencias provenientes de varios estudios anteriores. Así, Rousselle y Noël (2007), evaluaron un grupo de niños con DD en tareas de comparación de cantidades presentadas en formato no-simbólico (pares de conjuntos con control perceptivo de la densidad o la superficie) y simbólico (dígitos) y encontraron que los niños con DD mostraron un rendimiento similar al grupo control en las tareas no simbólicas y diferente (fueron más lentos y cometieron más errores) en la tarea simbólica. Estos resultados fueron posteriormente replicados por Luculano, Tang, Hall y Butterworth (2008) utilizando también el contraste entre tareas simbólicas y no simbólicas de comparación de magnitudes en niños con y sin DD. Sin embargo, debemos tomar en cuenta que las deficiencias de los niños con DD para el procesamiento simbólico demostradas en ambos estudios pudiera también ser la expresión de un déficit en el sistema de procesamiento verbal o “módulo numérico” per se y no en la interfaz entre éste y el sistema analógico. Pensamos que la construcción experimental de nuestras tareas permite focalizar más directamente la atención sobre dicha interfaz y por tanto ofrece evidencias más directas de su funcionamiento que los estudios anteriormente descritos.

Conclusiones

La estimación como proceso que involucra fundamentalmente al sistema aproximado de las cantidades sigue, en los niños con desarrollo típico y atípico de las habilidades numéricas, los mismos principios y regularidades observados en el adulto; de manera que, este sistema parece ser inherente y congénito en la especie humana y parece estar pobremente afectado por las adquisiciones culturales posteriores tal como el aprendizaje formal de las matemáticas. Entre el sistema analógico y el sistema verbal de representación numérica parece mediar una interfaz que logra sintonizar o calibrar la línea numérica mental durante la realización de tareas que involucran el procesamiento aproximado de las magnitudes numéricas -como es el caso de la estimación- y esta interfaz no parece funcionar efectivamente en los niños con DD.

Las evidencias aquí obtenidas a partir del estudio de niños con DD destacan la importancia de comprender la trayectoria atípica del desarrollo a partir de las sutiles desviaciones que aparecen en los núcleos centrales de los sistemas de representación numérica. Esta aproximación es imprescindible para delinear los predictores tempranos de la competencia en las habilidades matemáticas de alto nivel y por tanto, para facilitar la detección temprana y la intervención específica del fallo en la adquisición de dicha competencia.

Referencias

Badian, N. A. (1983). Dyscalculia and nonverbal disorders of learning. En H. R. Myklebust (Ed.), *Progress in Learning*

Disabilities (Vol.5, pp. 235-264). New York: Grune & Stratton.

Barnes, M. A., Wilkinson, M., Khemani, E., Boudesquie, A., Dennis, M., & Fletcher, J. M. (2006). Arithmetic processing in children with spina bifida: Calculation accuracy, strategy use, and fact retrieval fluency. *Journal of Learning Disabilities, 39*, 174-187.

Barth, H., Kanwisher, N., & Spelke, E. S. (2003). The construction of large number representations in adults. *Cognition, 86*, 201-221.

Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., Dehaene, S., Kanwisher, N., & Spelke, E. S. (2006). Nonsymbolic arithmetic in adults and young children. *Cognition, 98*, 199-222.

Bruandet, M., Molko, N., Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). A cognitive characterization of dyscalculia in Turner syndrome. *Neuropsychologia, 42*, 288-298.

Butterworth, B. (1999). *The mathematical brain*. London: Macmillan.

Butterworth, B., & Reigosa-Crespo, V. (2007). Information processing deficits in dyscalculia. En D. B. Berch, & M. M. M. Mazzocco (Eds.), *Why is math so hard for some children? The nature and origins of mathematical learning difficulties and disabilities* (pp. 65-81). Baltimore, MD: Paul H Brookes Publishing Co.

Butterworth, B., Grana, A., Piazza, M., Girelli, L., Price, C., & Skuse, D. (1999). Language and the origins of number skills: Karyotypic differences in Turner's syndrome. *Brain and Language, 69*, 486-488.

- Butterworth, B., Zorzi, M., Girelli, L., & Jonckheere, A. (2001). Storage and retrieval of addition facts: The role of number comparison. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *54*, 1005-1029.
- Cordes, S., Gelman, R., Gallistel, C. R., & Whalen, J. (2001). Variability signatures distinguish verbal from nonverbal counting for both large and small numbers. *Psychological Bulletin*, *8*(4), 698-707.
- Dantzig, T. (1967). *Number: The language of science*. New York: The Free Press.
- Dehaene, S. (1997). *La bosse des maths*. Paris: Odile Jacob Science.
- Dehaene, S. (2001). Précis of the number sense. *Mind and Language*, *16*, 16-36.
- Dehaene, S., & Marques, J. F. (2002). Cognitive Neuroscience: Scalar variability in price estimation and the cognitive consequences of switching to the euro. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *55*(3), 705-731.
- Gallistel, C. R., & Gelman, R. (2000). Non-verbal numerical cognition: From reals to integers. *Trends in Cognitive Science*, *4*, 59-65.
- Gallistel, C. R., & Gelman, R. (2005). Mathematical cognition. En K. Holyoak, & R. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 559-588). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Gersten, R., Jordan, N. C., & Flojo, J. R. (2005). Early identification and interventions for students with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, *38*, 293-304.
- Ginsburg, N. (1978). Perceived numerosity, item arrangement, and expectancy. *American Journal of Psychology*, *91*(2), 267-273.
- Goldman, S. R., & Pellegrino, J. W. (1987). Information processing and educational microcomputer technology: Where do we go from here? *Journal of Learning Disabilities*, *20*, 144-154.
- Gross-Tsur, V., & Manor, O. (1996). Developmental dyscalculia: Prevalence and demographic features. *Developmental Medical Child Neurology*, *38*, 25-33.
- Halberda, J. & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the "number sense": The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology*, *44*(5), 1457-1465.
- Halberda, J., Mazocco M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in nonverbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, *455*, 665-668.
- Hasselbring, T. S., Goin, L. I., & Bransford, J. D. (1988). Developing math automaticity in learning handicapped children: The role of computerized drill and practice. *Focus on Exceptional Children*, *20*, 1-7.
- Hollingsworth, W. H., Simmons, J. P., Coates, T., & Cross, H. A. (1991). Perceived numerosity as a function of array number, speed of array development, and density of array items. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *29*(5), 448-450.

Indow, T., & Ida, M. (1977). Scaling of dot numerosity. *Perception and Psychophysics*, 22(3), 265-276.

Iuculano, T., Tang, J., Hall, Ch., & Butterworth, B. (2008). Core information processing deficits in developmental dyscalculia and low numeracy. *Developmental Science*, 11(5), 669-680.

Izard, V., & Dehaene, S. (2007). Calibrating the mental number line. *Cognition*, 106(3), 1221-1247.

Jordan, N., & Montani, T. (1997). Cognitive arithmetic and problem solving: A comparison of children with specific and general mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 30, 624-634.

Karmiloff-Smith, A. (1998) Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in Cognitive Science*, 2, 389-398.

Kosc, L. (1974) Developmental dyscalculia. *Journal of Learning Disabilities*, 7, 164-177.

Krueger, L. E. (1982). Single judgments of numerosity. *Perception and Psychophysics*, 31(2), 175-182.

Krueger, L. E. (1984). Perceived numerosity: A comparison of magnitude production, magnitude estimation, and discrimination judgments. *Perception and Psychophysics*, 35(6), 536-542.

Krueger, L. E. (1989). Reconciling Fechner and Stevens: Toward a unified psychophysical law. *Behavioral and Brain Sciences*, 12, 251-320.

Lander, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: a study of 8–9-year-old students. *Cognition*, 93, 99-125.

Lipton, J. S., & Spelke, E. S. (2005). Preschool children's mapping of number words to nonsymbolic numerosities. *Child Development*, 76(5), 978-988.

Logie, R. H., & Baddeley, A. D. (1987). Cognitive processes in counting. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 13(2), 310-326.

Minturn, A. L., & Reese, T. W. (1951). The effect of differential reinforcement on the discrimination of visual number. *Journal of Psychology*, 31, 201-231.

Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgments of numerical inequality. *Nature*, 215, 1519-1520.

Ostad, S. E. (1999). Developmental progression of subtraction studies: A comparison of mathematically normal and mathematically disabled children. *European Journal of Special Needs Education*, 14(1), 21-36.

Paterson, S. J. (2001) Language and number in Down syndrome: The complex developmental trajectory from infancy to adulthood. *Down Syndrome. Research and Practice*, 7, 79-86.

Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science*, 306, 499-503.

Raven, J. C., Court, J. H., & Raven, J. (1992). *Standard progressive matrices*. Oxford, UK: Oxford Psychologists Press.

Reigosa-Crespo V., Valdés Sosa, M., Butterworth, B., Torres, P., Santos E., Lage A., Valdés Sosa, P., Estevez, N., et al. (2011). *Basic numerical capacities and prevalence of developmental dyscalculia: The Havana City Survey*. Manuscrito presentado para su publicación.

Rousselle, L., & Noël, M. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102(3), 361-395.

Spelke, E. S., & Tsivkin, S. (2001). Language and the brain: A bilingual training study. *Cognition*, 78, 45-88.

Udwin, O., Davies, M., & Hosylin, P. (1996) A longitudinal study of cognitive and education attainment in Williams syndrome. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 38, 1020-1029.

Whalen, J., Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1999). Nonverbal counting in humans: The psychophysics of number representation. *Psychological Science*, 10, 130-137.

Wilson, A., & Dehaene, S. (2007). Number Sense and Developmental Dyscalculia. En D. Coch, G. Dawson, & K. Fischer (Eds.), *Human behaviour, learning, and the developing brain: Atypical development* (pp. 212-238). New York: Guilford Press.

Xu, F., & Arriaga, R. I. (2007). Number discrimination in 10-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, 25, 103-108.