

Universidad de Guadalajara

Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades
División de Estudios de Estado y Sociedad
Departamento de Estudios en Educación

Doctorado en Investigación Educativa



TITULO DE LA TESIS: EVALUACIÓN DE LOS MÓDULOS DE CODIFICACIÓN
NUMÉRICA EN NIÑOS CON TRASTORNO DE CÁLCULO

Tesis para obtener el grado de

Doctor en Investigación Educativa

Presenta:

Nombre del alumno Diego de Jesús Iñiguez Moreno
"Becado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología "



Bajo la Dirección de
Dra. Teresita de J. Montiel Ramos.
Dr. Juan Gerardo Martínez Borrayo

Zapopan Jalisco, fecha: 12 de Febrero del 2013

Índice

| | |
|--|----|
| Introducción | 5 |
| 1. Habilidades Matemáticas | 9 |
| • Modelo de McCloskey y las representaciones abstractas del número | 11 |
| • Modelo de Butterworth “Trastorno en la representación de la numerosidad” | 14 |
| • “Modelo del triple código” de Dehaene. | 18 |
| 2. Módulos de procesamiento numérico del modelo del triple código | 23 |
| • Módulo Analógico | 26 |
| ➤ Línea numérica | 27 |
| ➤ Efecto de distancia y efecto de tamaño | 28 |
| ➤ Subitización | 31 |
| ➤ Comparación y cálculos aproximados | 32 |
| ➤ Efecto SNARC | 33 |
| ➤ Efecto SOAR | 36 |
| ➤ Efecto OM | 37 |
| ➤ La fracción de Weber | 38 |
| • Módulo Visual Árabe | 41 |
| • Módulo Verbal | 44 |
| • El modelo del triple código y el trastorno de cálculo | 48 |
| 3. Trastorno en el aprendizaje de cálculo | 51 |

| | |
|--|----|
| • Definición, Prevalencia y Comorbilidad | 51 |
| • Criterios Diagnósticos | 52 |
| • Errores más frecuentes en niños con trastorno de cálculo | 54 |
| • Subtipos de Trastorno de Cálculo | 55 |
| 4. Planteamiento del problema | 56 |
| 5. Preguntas de Investigación | 57 |
| 6. Hipótesis | 58 |
| 7. Justificación | 59 |
| 8. Objetivos de investigación | 61 |
| • Objetivo General | 61 |
| • Objetivos particulares | 61 |
| • Propósito | 61 |
| • Objetivo Teórico | 62 |
| • Objetivo Personal | 62 |
| 9. Metodología | 63 |
| • Muestra | 63 |

| | |
|--|-----|
| • Materiales de evaluación para la selección de la muestra | 63 |
| • Materiales de evaluación para la fase experimental | 66 |
| • Procedimiento | 71 |
| ➤ Fase de selección de participantes | 71 |
| ○ Evaluación de las habilidades matemáticas | 71 |
| ○ Evaluación del cociente intelectual | 72 |
| ○ Evaluación de lectura y TDAH | 72 |
| ➤ Fase Experimental | 74 |
| • Análisis estadístico | 75 |
| • Resultados | |
| ➤ Caracterización de la muestra | 76 |
| ➤ Resultados de la fase experimental | 81 |
| ➤ ANOVA de dos factores con medidas repetidas en un factor | 85 |
| 10. Discusión | 92 |
| 11. Conclusiones | 104 |
| 12. Bibliografía | 115 |

Introducción

El trastorno en el aprendizaje del cálculo se ha definido como “un problema de aprendizaje observado en niños, que se caracteriza por una dificultad para asimilar, recordar datos numéricos y aritméticos, para realizar procedimientos de cálculo y crear estrategias para la solución de problemas” (Rosselli y Matute, 2011 p.124).

El trastorno de cálculo no se encuentra con características uniformes sino que se presenta como un problema numérico con variaciones, entre ellas están los problemas para contar o dominar los conceptos matemáticos.

En este trabajo se abordó el trastorno de cálculo desde el modelo de procesamiento planteado por Dehaene (1992) y Piazza (2004), ellos indican que existen módulos específicos para realizar diferentes tipos de tareas matemáticas, es decir que hay tres vías de procesamiento y se distinguen según el tipo de estímulo recibido; estos módulos son: Módulo Visual, Módulo Verbal y Módulo Analógico de magnitud. Dehaene distinguió estos módulos a través de experimentos realizados a sujetos con trastorno de cálculo concluyendo cuáles errores presentaban en cada uno de los módulos y la tarea por la cual podrían ser evaluados.

El problema de la representación de dígito que se abordará en este trabajo es el descrito por Dehaene, y a través de la comparación de niños entre 10 y 13 años de edad diagnosticados con trastorno de cálculo se pretende deducir si existe algún módulo en específico que se encuentre más dañado en los participantes que presentan trastorno de cálculo y, de esta manera, se les dificulte acceder a la línea numérica.

La hipótesis de esta tesis es que los sujetos que presentan el trastorno de cálculo son más lentos al momento de contestar y cometen mayor número de

errores en la evaluación de comparación de los 3 módulos (visual, verbal y analógico).

El propósito de conocer a fondo el trastorno de cálculo es actualizar los elementos teóricos de los que se dispone sobre las deficiencias específicas en los sujetos que presentan dicho trastorno, se podrá comprobar que tienen dificultades para representar los números de forma interna y dominar las reglas para su uso. Específicamente, al tratar de ubicar cuál dígito es mayor o menor, tendrán errores porque no han desarrollado a la perfección estas nociones de acomodo entre los números.

Una vez que se describen las diferencias entre los sujetos con trastorno de cálculo de aquellos que no lo presentan, se pretende que, a partir de conocer en cuáles tareas tienen menor desempeño, se diseñen tareas específicas para evaluar y desarrollar habilidades. Este conocimiento se podrá utilizar en un futuro para identificar a los sujetos con el trastorno de cálculo dentro de las escuelas y trabajar con ellos dentro de un programa establecido que contenga estrategias para mejorar sus habilidades matemáticas y como resultado final, que los niños en edad escolar se integren a los aprendizajes promovidos en el salón de clases.

Para comprender el trastorno de cálculo es necesario recurrir a los autores que han descrito el procesamiento numérico basados en investigaciones, tanto en sujetos normales como en sujetos con lesiones cerebrales y dificultades funcionales. Para este trabajo se revisan tres teorías y se analizan las diferencias que guardan entre sí, finalmente se determina como referencia el tercer modelo expuesto, que corresponde a Dehaene; quien, como señalamos antes, afirma que existen tres modalidades para representar el número: visual, analógica y verbal.

Otro apartado que presenta la visión de algunos autores para conceptualizar el trastorno de cálculo muestra los tipos de errores que se pueden encontrar, en base a los procesos en los que fallan con más frecuencia, como la

memoria, el acomodo espacial, el juicio, etc. De ahí mismo se derivan los subtipos del trastorno de cálculo que van en función a las tareas en las que tienen dificultades, como la lectura y escritura de números, manejo de símbolos, etc.

Es importante señalar que se ha encontrado que los sujetos con trastorno de cálculo se han clasificado en estos subtipos porque hay diferencias entre ellos, es decir, pueden tener más errores en unas tareas que en otras, pero aún así pertenecen a la población con el trastorno.

Una vez definidos los modelos que explican el procesamiento numérico, y se hace la revisión de los errores más comunes y los subtipos del trastorno de cálculo, se presentan los aspectos centrales del estudio realizado en este trabajo. Dentro de la metodología utilizada para seleccionar sujetos se aplica una serie de tests: Wide Range Achievement test (WRAT) para medir habilidades matemáticas, la subescala de cubos y la subescala verbal de la escala Weschler para obtener el CI, la escala de Conner's para explorar la presencia del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), y la lectura en voz alta de la Evaluación Neuropsicológica Infantil - ENI de Ardila, Matute y Roselli (2004) de para descartar problemas de lectura.

Para la fase experimental se diseñaron dos software que contienen los reactivos adecuados para medir los módulos verbal y visual, mientras que para el módulo analógico se utilizó el software *Panamath* elaborado por Justin Halberda, Ryan Ly y Robert Eisinger obtenido a través de la página www.panamath.org ; los experimentos utilizados registran automáticamente las respuestas del sujeto y los tiempos de reacción. Para comparar al grupo de estudio y al grupo control se utiliza estadística descriptiva, el análisis T de Student para grupos independientes y el análisis de ANOVA de un solo factor.

A partir de los resultados obtenidos se discute la relevancia de los módulos de procesamiento numérico y la implicación del acceso a la línea numérica para evaluar las diferentes tareas matemáticas.

En resumen, el contenido de esta tesis es el siguiente: en el primer capítulo se plantean las habilidades matemáticas vistas desde la postura de 3 autores, que son McCloskey, Butterworth y Dehaene; se recuperan los conceptos más importantes para estos autores, la explicación de sus modelos y también las diferencias que presentan entre ellos.

En el segundo capítulo se habla específicamente del modelo de Dehaene, un autor fundamental para esta tesis; en este capítulo se explican con detalle los 3 módulos (verbal, visual y analógico), qué partes conforman a cada uno de éstos, cuáles son los efectos que se presentan en los módulos y la relación que guardan con el trastorno de cálculo.

En el tercer capítulo se aborda el trastorno de cálculo y todo lo que conlleva el explicar este trastorno como son los criterios diagnósticos, los tipos de errores que se presentan y los subtipos que comprende este trastorno.

En los siguientes apartados se expone el planteamiento del problema hipótesis y justificación del estudio. Se sigue con la metodología de estudio utilizada en la tesis: muestra, materiales, procedimiento y análisis estadístico. En el siguiente capítulo se describen los resultados obtenidos, tanto descriptivos como inferenciales.

Por último se encuentra el apartado de la discusión, en la cual se retoman los resultados obtenidos en el análisis estadístico y se discute con otros autores sobre sus posturas y cómo los resultados de esta tesis pueden favorecer o fortalecer una postura o un módulo en específico.

1. Habilidades Matemáticas

Las matemáticas se entienden como la ciencia deductiva que estudia las propiedades de los entes abstractos (números, figuras geométricas o símbolos) y la aritmética se entiende como el estudio de los números y las operaciones hechas con estos (Salguero, 2007). En cuanto a la experiencia de cómo desarrollamos la capacidad para manejar números, símbolos y realizar operaciones, entre otras muchas tareas, debe entenderse que nuestras habilidades matemáticas y aritméticas son el resultado de la integración de dos tipos de representaciones, la primera representación se refiere a un formato simbólico que se apoya en nuestras facultades del lenguaje, que serviría para la manipulación exacta de signos y algoritmos numerales.

La segunda representación sería independiente del lenguaje, y se encuentra localizada en los circuitos cerebrales que tienen un vínculo con cuestiones visuales y espaciales; ésta segunda representación permite el cálculo aproximado de cantidades numéricas (Dehaene, 1997).

Ambas representaciones encuentran su punto de localización en los dos hemisferios del cerebro. La primera representación, tal y como lo plantea Cohen (1994), se encontraría en el hemisferio izquierdo al tratar cálculos exactos; mientras que el segundo formato de representación tendría su localización en el hemisferio derecho por tratarse de cálculos aproximados.

La unión de estas dos representaciones y del uso adecuado de los dos hemisferios dan como resultado las habilidades matemáticas, ésta última se entiende como un mapa espacial orientado de forma lineal que se encuentra codificado en una escala logarítmica, donde los números pequeño o negativos van hacia la izquierda, y los derechos y positivos hacia la derecha (Dehaene, 1997).

A continuación se expondrán tres modelos fundamentales para comprender el procesamiento matemático. Existen diferentes modelos que dan una explicación

acerca del procesamiento de número, entre ellos se encuentra el que propone McCloskey (1985), el cual fue uno de los primeros modelos propuestos para entender las representaciones numéricas y aportó las rutas para seguir investigando sobre el tema.

En segundo lugar se presentarán las ideas de Butterworth, quien retoma las ideas de McCloskey sobre la vía de entrada de información pero agrega las vías a semánticas, afirmando que no toda la información pasa por la representación abstracta, sino que existe cierta información que no se codifica de esta manera y de forma automática pasa directo a otros módulos para ser procesada.

Por último se expondrá otra línea de investigación que surgió partir del trabajo de McCloskey, formulada por Dehaene quien propone un modelo de triple código en el cual se puede acceder a representaciones abstractas de 3 formas: verbal, visual o de forma analógica de las magnitudes.

El módulo verbal codifica tareas como las tablas de multiplicar y contar; el módulo de la representación visual arábica codifica tareas multinúmeros y juicios de paridad, como se presenta en el efecto SNARC; y el módulo Analógico de la Magnitud codifica tareas como son estimaciones, cálculos aproximados y comparaciones.

A continuación se expondrán brevemente las ideas principales de los modelos de McCloskey y Butterworth, finalizando con el modelo de Dehaene a quien se le dedica un capítulo para revisar su modelo.

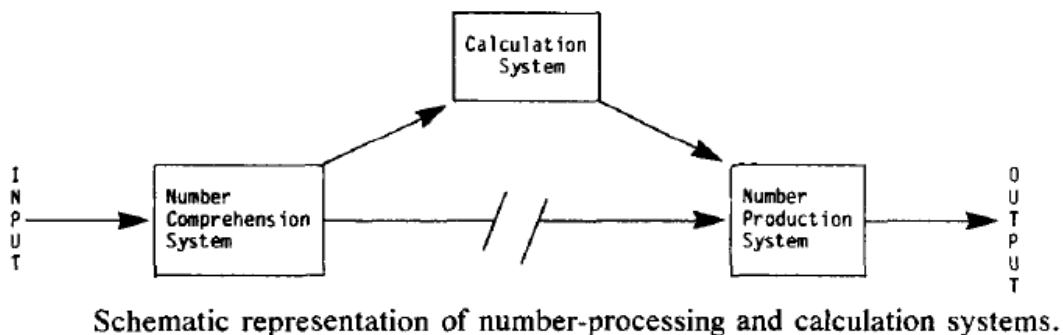
Modelo de McCloskey y las representaciones abstractas del número

El modelo multi-ruta de McCloskey proporcionó elementos básicos para explicar la representación numérica al proponer que las vías de captación de estímulos llevan a una representación abstracta, después se procesan y producen una expresión verbal o aritmética. Al proponer un modelo cognitivo de funcionamiento normal intenta explicar los errores que producen los pacientes con acalculia. Este modelo desarrolla una metodología de estudio de los trastornos de las facultades matemáticas que ha permitido hallar múltiples confirmaciones empíricas (Jacubovich, 2006).

McCloskey y Caramazza (1985) afirman que el sistema de procesamiento numérico incluye los siguientes componentes:

- *De procesamiento sintáctico*: procesamiento de las relaciones entre los elementos para comprender o producir los números como un todo.
- *De procesamiento fonológico*: para comprender y producir números hablados.
- *De procesamiento gráfemico*: para producir y comprender números escritos.

Figura 1. Esquema del modelo de McCloskey (1985).



El autor propone que estas representaciones del número se procesan por tres módulos que se pueden llegar a alterar, y éstos son: un módulo en el cual entra la información, el siguiente módulo se encarga de procesar la información y el tercer módulo es una salida para la información. Si existe alguna perturbación o lesión cerebral se presentarán problemas en las habilidades matemáticas.

Algunas de las características que presentan los módulos que integran a dicho modelo son: existe una codificación para el procesamiento de números arábigos (por ejemplo 435); una codificación para el procesamiento verbal de números (cuatrocientos treinta y cinco); y un procesamiento lexical para la producción de elementos individuales en un número (3 o tres) (McCloskey y Caramazza, 1985).

El modelo de McCloskey presenta un sistema para procesar el número, después este sistema se divide en dos sub-sistemas. El primer subsistema está compuesto por dos dimensiones que son la léxica (número) y sintáctica (línea numérica), que tiene a su vez vínculos con el cálculo mental y el cálculo escrito. El segundo subsistema funciona como generador de códigos y representaciones escritas y orales del procesamiento numérico abstracto.

Ambos subsistemas incluyen la facultad para comprender los signos matemáticos, el acceso a los datos aritméticos básicos (tablas, sumas elementales) y el dominio de algoritmos para las operaciones básicas (mecanismos como llevarse, pedir prestado, alinear y otro) (Jacubovich, 2006).

Un problema que presenta este modelo es el escaso desarrollo del sistema de comprensión, aquí el significado es puramente abstracto-cuantitativo y la forma de explorar esta instancia se reduce a la comparación de magnitudes entre numerales (López, 2009).

Una de sus principales debilidades es que se explica el procesamiento matemático considerando que sigue una línea de representación abstracta empezando por la entrada de información, enseguida la información pasa a un sistema de comprensión numérica, después se procesa en el sistema de cálculo para generar una respuesta en el sistema de producción numérica la cual será emitida a manera de salida de información.

Las operaciones aritméticas, desde la recuperación de hechos numéricos hasta el cálculo mental, se llevarían a cabo utilizando una representación abstracta unitaria de cantidad independiente del código en que se presente en la entrada de información (López, 2009).

Ello implica que para este modelo, previamente al procesamiento y después de éste e independientemente del modo de representación, la información siempre debe codificarse en el módulo abstracto.

“Existen otros modelos que rechazan explícitamente la hipótesis de McCloskey relativa al papel central de la representación abstracta en todos los procesos aritméticos. Algunos autores sugieren la existencia de una ruta *asemántica* para la transcodificación entre notaciones numérica y verbal sin pasar por una representación semántica intermediaria” (López, 2009, p. 5).

Modelo de Butterworth “Trastorno en la representación de la numerosidad”

El trastorno de cálculo es el resultado de una alteración en la representación de la numerosidad que puede afectar a la comprensión de los números así como otras tareas aritméticas simbólicas (comparación, adición y sustracción del número) como no simbólica (comparación y adición aproximada de conjuntos) (Castro y Cañizares, 2009).

Para explicar el trastorno de cálculo de acuerdo al modelo de este autor, primero deben definirse algunos conceptos, empezando por el de numerosidad que se refiere a una propiedad para denotar la cantidad de elementos en un conjunto (Butterworth, 2009). De esta manera, un sujeto con este trastorno presentará dificultades para representar y comprender los números lo cual afectará la realización exitosa de tareas aritméticas.

El desarrollo de la representación de la numerosidad se da por la interacción entre el módulo de las representaciones abstractas y la estimulación cultural (McCloskey, 1985). Por lo que se podría hablar de estímulos que detonan el desarrollo de esta capacidad. Las representaciones abstractas son innatas, por lo tanto todos contamos con éstas, lo único que puede variar es el curso de su desarrollo; por lo que el trastorno de cálculo sería el resultado de una alteración en el desarrollo del módulo de las representaciones abstractas.

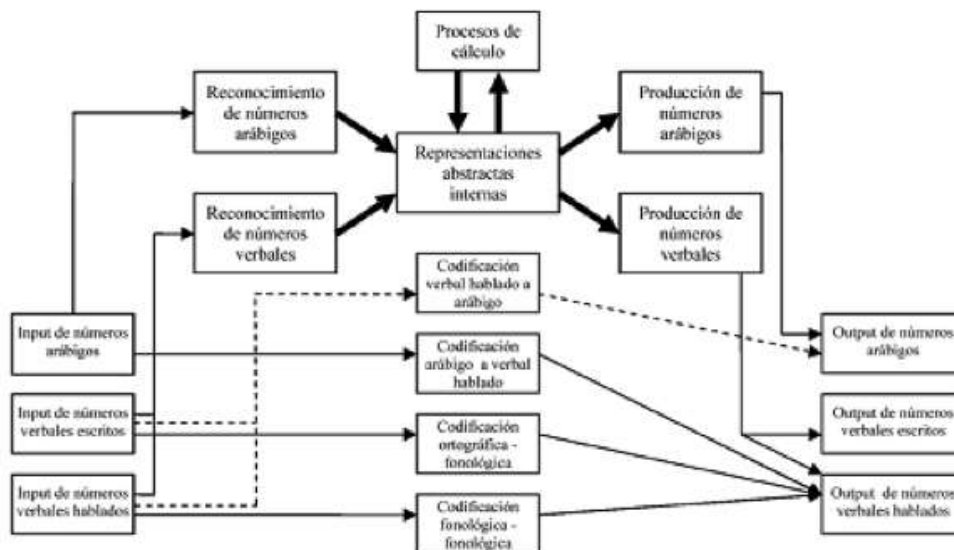
Los niños con trastorno de cálculo presentan un déficit selectivo y de dominio específico de las matemáticas en tareas de estimación de numerosidad (Castro y Cañizares, 2009). Al no desarrollarse de manera adecuada la representación de la numerosidad se afectan básicamente dos tareas: las aritméticas, como es el caso de la comparación, adición y sustracción de números, que serían tareas de orden simbólico; y las tareas que son de orden no simbólico como es el caso de la comparación y adición aproximada de conjuntos.

Dehaene en 2009 realizó un experimento para determinar en dónde se presentaban más errores, al resolver operaciones o al hacer comparaciones de números; para evaluar la resolución de operaciones se presentaban imágenes con operaciones, después se proyectaba una imagen neutra y el sujeto tenía que responder correctamente la operación; en la tarea de comparaciones de dígitos se presentaban dos números y se pedía que realizaran valoraciones de mayor o menor que. En los resultados se observaron más errores en las comparaciones de dígitos, es decir, en una tarea de orden no simbólico.

Esto demuestra que las estimaciones y comparaciones son más complejas, ya que se necesita una representación gráfica y ésta carece de exactitud; en cambio, el resolver operaciones mediante imágenes resulta una tarea más sencilla ya que se trata de trabajar con números exactos y signos que indican la relación entre las cantidades ya sea de suma o de resta, lo que deja un menor margen de error.

La comparación de magnitudes implica relaciones más abstractas porque en este proceso muchas veces no se puede acudir a una representación gráfica sino que se hacen estimaciones y tanteos, y se debe tener un dominio amplio de las habilidades matemáticas. Para hacer una estimación se debe apelar a las rectas numéricas imaginarias que se utilizan para comparar y discriminar, y de esta manera poder emitir un cálculo.

Figura 2. Modelo de Cipolotti y Butterworth (1995).



Al ser este modelo una extensión del de McCloskey se toma en referencia un sistema abstracto al cual se recurre cuando se requieren tareas específicas de cálculo, pero señala que también hay excepciones en las cuales no se requiere usar esta ruta pues hay tareas que pueden prescindir de la representación abstracta y en cambio utilizan una ruta *asemántica* por ejemplo en escritura, lectura y dictado de números arábigos.

Hasta el momento se analizan los diversos modelos que explican los procesos de representación de número con la finalidad de retomar las aportaciones de cada uno para definir aspectos relevantes. Del modelo de Butterworth, el concepto más significativo fue el de “numerosidad”, que además marca una diferencia del modelo de McCloskey, principalmente por la ruta *asemántica* que propuso.

Estos modelos son anteriores al propuesto por Dehaene, modelo que fue base central en esta tesis. En estos dos primeros se plantean las bases y los conceptos para entender la teoría; dentro de lo más importante se encuentra que

ya se habla de un sistema modular, y comparten conceptos que son afines entre los dos modelos, como el de línea numérica y subitización, conceptos que marcan una diferencia importante en el desarrollo del modelos de Butterworth con respecto al de McCloskey. El análisis de estos dos modelos nos da conceptos de referencia para explicar el modelo de Dehaene, que se presenta en el próximo apartado

De las críticas que se le hacen a este modelo es considerar el grado de automatismo de las operaciones dependerá básicamente de su frecuencia de resolución, de forma que las restas más frecuentes se van aprendiendo por asociación, lo que facilitaría su recuperación de forma automática posteriormente. Es decir, para estos modelos no es difícil asumir el automatismo de las restas o la ausencia del mismo, pues este dependerá de la fuerza asociativa que la experiencia con tales operaciones genere (Lara, 2009).

“Modelo del triple código” de Dehaene

La tercera teoría es la propuesta por Dehaene, la cual dice que la causa del trastorno de cálculo se presenta en el sentido numérico. El sentido numérico se entiende como la capacidad de representar cantidades continuas, que a su vez se dividen en representaciones analógicas y representaciones aproximadas; son cálculos que no necesariamente se deben llevar a cabo en números arábigos, sino que pueden ser cualquier objeto o representación (Dehaene, 1997).

A su vez debe existir reciprocidad entre el número que se procesó y una lista de palabras que definan la cantidad de dicho número. Cuando se logra llevar a cabo este proceso de relacionar los conceptos con los dígitos es cuando se empieza a desarrollar el sentido de número (Dehaene, 1997).

Nacemos con la capacidad de desarrollar el sentido de número, incluso hay un modo de representación compartido entre animales y niños pre-verbales, que se representa con una línea numérica y tiene características precisas. La línea representa en principio del 1 al 5; este modo de representación constituye un módulo especializado básico, que Dehaene (1997) define como el sentido del número.

Este concepto es diferente de la subitización, que consiste en establecer súbitamente a nivel mental una cantidad menor a 4 sin necesidad de contar uno a uno cada elemento que se le presente, ya que logran hacerlo por un mecanismo global (Le Corre y Carey, 2007, 2008).

La subitización tiene un límite de hasta 4 elementos. Mientras que por otro lado, en el sentido de número es más amplio el conteo o distinción que puede llegar a presentar y no solo se limita al conteo de una determinada cantidad, sino que también existe dentro de este sentido la estimación y comparación, lo cual nos indica que pueden ser tareas distintas.

Otra capacidad que se encuentra tanto en animales como en humanos y sirve de sustento para los diferentes modos de representación es el sistema de un numeral aproximado que se va madurando con el tiempo. Como lo propone Dehaene, la representación del número no se limita a las representaciones logográficas, sino que existen diferentes formas de representar el número.

Cuando nacen, los niños presentan una categoría no-simbólica definida como sentido de número, con la maduración el módulo empieza a transformarse en una categoría simbólica (Castro y Cañizares, 2009) y se perfecciona el sentido de número. En esta transición de una categoría a otra se puede presentar un error en el procesamiento cuando no existe una adecuada representación entre la conexión no-simbólica y la simbólica.

Los números se procesan en dos categorías, en la forma simbólica y la no-simbólica, el uso de cada una depende del grado de desarrollo del individuo ya que el sistema numérico pre-verbal se relaciona con las representaciones no-simbólicas y el sistema verbal corresponde al desarrollo de la categoría simbólica (Rosselli y Matute, 2011).

Del sistema numérico pre-verbal se deriva el sistema numérico verbal que se desarrolla con la adquisición del lenguaje y a su vez es paralelo al desarrollo del código arábigo.

Entonces, antes de la adquisición del lenguaje los niños presentan un *sistema numérico pre-verbal* similar al de los animales, en ellos existe la capacidad de distinguir elementos menores de cuatro, y discernir entre un grupo pequeño y uno grande cuando hay una gran diferencia entre ambos conjuntos, por ejemplo, pueden distinguir entre 8 y 16 objetos pero no entre 12 y 16.

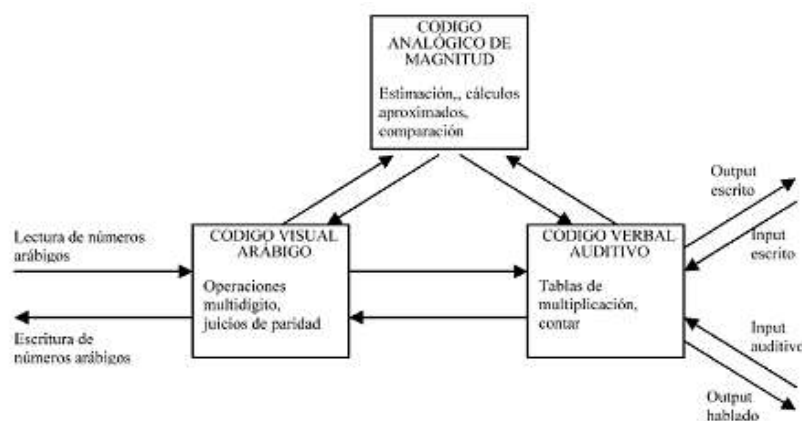
En la etapa pre-verbal los niños utilizan el procedimiento de subitización (Rosselli y Matute, 2011), en el cual, reconocen cuántos elementos hay a partir de

una sola visualización sin necesidad de contarlos; sin embargo, cuando es un grupo mayor de objetos se requieren estrategias de conteo, lo que conlleva mayor tiempo y otros procedimientos cognitivos (López, 2009).

Al contacto con el lenguaje el niño forma representaciones lingüísticas (los numerales) de números más allá del 5, dependiendo del lenguaje esos numerales pueden representar cualquier número por grande que sea, y el niño debe modificar la representación biológica original de acuerdo con esas nuevas representaciones.

En las culturas que han desarrollado notaciones simbólicas (sistema decimal, aritmética, álgebra, logaritmos, cálculo infinitesimal, etc.), el niño debe formar representaciones simbólicas adicionales, las cuales inducen modificaciones en la representación biológica original; de tal manera que la representación conceptual de número de un niño, adolescente y adulto sometido a esos impactos lingüísticos y simbólicos evoluciona para adquirir una capacidad especializada, en la cual intervienen los tres módulos de representación.

Figura 3. Modelo de triple código de Dehaene (1992; Dehaene & Cohen, 1995).



El modelo de triple código de procesamiento numérico fue desarrollado por Cohen y Dehaene (1992,1995), postulan hipótesis explícitas acerca de dónde se encuentran estos módulos, qué codifican, y cómo su actividad está coordinada en las diferentes tareas. Funcionalmente, el modelo se basa en tres hipótesis fundamentales:

“La primera hipótesis es que la información numérica puede ser manipulada mentalmente en tres formatos: una representación analógica de las cantidades en la que los números se representan como distribuciones de activación a nivel de la línea numérica; un formato verbal, en el que los números se representan como cadenas de palabras (por ejemplo, treinta y siete), y una representación visual arábica, en la que los números se representan como una cadena de dígitos” (Cohen y Dehaene, 1992, p.5).

En la segunda hipótesis, los procedimientos de transcodificación permiten que la información se traduzca directamente de un código a otro, es decir que dependiendo de la tarea se pasa de manera automática (Cohen y Dehaene 1992).

En la tercera hipótesis, los autores plantean que cada procedimiento de cálculo se basa en un conjunto fijo de entrada y salida de los códigos (Cohen y Dehaene, 1992).

Observaciones neuropsicológicas y de imagen han permitido asociar tentativos circuitos neuroanatómicos para cada nodo del modelo de triple código. Los autores especulan que los sectores ventrales occipito-temporal de ambos hemisferios están involucrados en la forma de número arábigo visual; que las áreas perisilvianas izquierdas están implicados en las representaciones verbales de números (como cualquier otra cadena de palabras), y, lo más importante, que la zona intraparietal de ambos hemisferios están involucrados en la representación de cantidad analógica (Göbel,, Walsh, & Rushworth, 2001).

Según este modelo, se puede acceder a cualquiera de los 3 tipos de representaciones de forma directa dependiendo del tipo de estímulo. Un conjunto de objetos puede evocar el acceso directo a su magnitud asociada, así, un número arábigo provocará la activación de su forma visual a través del sistema de reconocimiento visual del sistema cognitivo y, por su parte, la forma verbal estaría conectada a los sistemas lingüísticos de reconocimiento de palabras.

También se establecen conexiones directas entre los módulos, de manera que se puede cambiar de un código a otro, es decir, se puede pasar del analógico al verbal o del visual al analógico dependiendo de los requerimientos de la tarea, así para un estímulo verbal (designar un número arábigo por la palabra que lo representa) se puede evocar una imagen como respuesta al escribir el número arábigo. De esta forma se pueden presentar las diferentes combinaciones entre los módulos y no necesariamente debe de recaer siempre en la representación de la magnitud o se debe de acudir para realizar operaciones matemáticas.

El modelo del triple código propone que la información se puede traducir de un código a otro por rutas a semánticas, y para la elección de dicho código depende del tipo de operación mental; si se harán comparaciones de magnitudes, este código pertenece al Analógico, para tablas de multiplicar corresponde al Verbal auditivo y para el cálculo aritmético corresponde al Visual (Grabulosa, 2002).

Después de revisar la propuesta de Dehaene sobre el modelo del triple código donde explica cómo se procesan los números, además de hacer un breve recorrido por la forma en que concibe el desarrollo de las habilidades matemáticas; a continuación se profundizarán las ideas que sustentan a este modelo.

2. Módulos de procesamiento numérico del modelo del triple código

El desarrollo de las habilidades matemáticas, según la teoría de Dehaene, empieza por el módulo más básico o primitivo con que contamos los seres humanos y que compartimos con los animales, que es el módulo analógico; éste básicamente corresponde a esa parte encargada de las aproximaciones de números y distancias en la línea numérica.

El desarrollo de las habilidades matemáticas y el procesamiento numérico plantean los siguientes ejemplos:

- A. Los recién nacidos rápidamente distinguen dos objetos de tres, y quizás tres de cuatro, mientras que sus oídos notan la diferencia entre dos y tres sonidos.
- B. Los bebés de al menos seis meses de edad son capaces de reconocer números pequeños de objetos o sonidos y combinarlos en operaciones elementales de sumas y restas.
- C. A los quince meses los bebés empiezan a seleccionar espontáneamente el mayor entre dos conjuntos de juguetes, mostrando los primeros rudimentos de comparación numérica” (Dehaene, 1997).

Dehaene apoya la tesis de que ciertas facultades numéricas se encuentran genéticamente impresas en nuestro cerebro, éstas son el resultado de un proceso evolutivo de adaptación por selección natural. Este sentido numérico tiene como punto de partida la construcción de un órgano cerebral dedicado a la representación aproximada y geométrica de los conceptos numéricos, el cual sirve de base intuitiva para la adquisición y manipulación de las nociones aritméticas elementales (Martínez, 2008).

El sentido numérico es la capacidad pre-verbal de percibir y discriminar grandes numerosidades y encuentra su relación directa con el surco intraparietal (Dehaene, Piazza, y Pinel, 2003). El sentido numérico es una abreviatura para nuestra capacidad de entender rápidamente, de manera aproximada y para manipular cantidades numéricas. La hipótesis de Dehaene es que el sentido numérico se basa en los circuitos cerebrales que se han desarrollado específicamente para el propósito de representar el conocimiento de la aritmética básica.

“Existen cuatro líneas de evidencia sugieren que el sentido numérico constituye un dominio específico:

- a) La capacidad determinada biológicamente.
- b) La presencia de precursores evolutivos de la aritmética en los animales.
- c) La aparición temprana de la competencia aritmética en los bebés, independientemente de otras habilidades, incluyendo el lenguaje.
- d) Las habilidades humanas en adultos para el procesamiento de número, y la existencia de un sustrato cerebral dedicado al procesamiento del sentido numérico” (Dehaene, 2003, p. 9).

La hipótesis de Dehaene es que el sentido numérico califica como una categoría determinada biológicamente del conocimiento. Los fundamentos de la aritmética se encuentran en nuestra capacidad para representar y manipular mentalmente numerosidades en una línea numérica mental, y una representación analógica del número. Esta representación tiene una larga historia evolutiva y un sustrato cerebral específico. Así, el número aparece como una de las dimensiones fundamentales con el cual nuestro sistema nervioso analiza el mundo exterior.

Los fundamentos de las matemáticas se basan en representaciones interiorizadas a nivel cerebral que son producto de la evolución, así, el número es un elemento presente en todas las culturas. Encontramos como punto común las nociones sobre numerosidad y la línea numérica presentes en cálculos

aproximados, las palabras para designar números, la capacidad de contar con los dedos y comparar colecciones de objetos.

De esta manera, la mayoría de nosotros tenemos fuertes intuiciones aritméticas que nos permiten decidir rápidamente que 9 es mayor que 5, que 3 se encuentra en medio de 2 y 4 (Dehaene, 2003).

Así como no podemos dejar de ver el color de los objetos (un atributo enteramente compuesto por circuitos en nuestra corteza occipital) y los lugares definidos que ocupan en el espacio dichos objetos (una representación reconstruida por vías occipito-parietal y proyecciones neuronales), la forma numérica misma de las cantidades se nos impone sin ningún esfuerzo a través de los circuitos especializados de nuestro lóbulo parietal inferior. La estructura de nuestro cerebro define las categorías de acuerdo a la cual se puede aprehender el mundo a través de las matemáticas (Dehaene, 2003)

Módulo Analógico

En la representación analógica de la magnitud, las cantidades numéricas se representan como distribuciones de activación sobre una línea numérica analógica orientada de izquierda a derecha (o viceversa, según la cultura) que cumple la ley psicofísica de Weber (Jacubovich, 2006).

La representación analógica de la magnitud es donde está representado el significado de los números, ya que ni la forma numérica arábiga ni la estructura verbal de la palabra contienen información semántica. Es en este nivel donde la cantidad o magnitud asociada a un número determinado es recuperada y se puede relacionar con cantidades numéricas, por ejemplo, para realizar una tarea de comparación numérica (Salguero, 2007).

Aunque el significado de los números no se limita al conocimiento de las cantidades, y es, según este modelo, en la representación analógica de la magnitud donde están almacenados otros significados de los números de carácter no cuantitativo. Este tipo de conocimiento numérico abarca información de diversa naturaleza, por ejemplo, que 16 es una potencia de 2 y que 17 es un número primo.

También incluye un conocimiento de tipo enciclopédico de algunos números, como 1914 ó 1789, por lo que se plantea que la representación semántica cuantitativa, de la magnitud que representa un número puede a veces complementarse con otros datos semánticos no cuantitativos como “potencia de 2”, “primo” o fechas famosas.

La representación de la magnitud no es apropiada para cualquier tarea numérica, sobre todo si ésta requiere precisión, sino que por el contrario se utiliza preferentemente para “redondear” y para otras tareas de aproximación y estimación (Salguero, 2007).

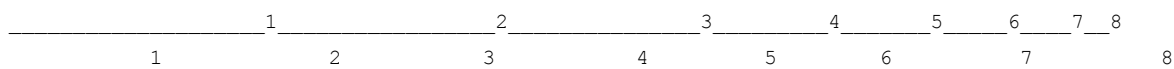
Este tipo de representación, concebida como línea numérica mental, no es responsable de los cálculos exactos, sólo de la manipulación de cantidades para realizar comparaciones, aproximaciones y cálculos aproximados (Dehaene, 1999).

El módulo analógico está constituido por diferentes efectos o categorías que amplían sus dimensiones. A continuación se mencionan los elementos que componen al módulo analógico: línea numérica, efecto de distancia y tamaño subitización, comparación, efecto SNARC, efecto SOAR, efecto OM, y la fracción de Weber.

➤ Línea numérica

Dehaene y sus colaboradores han propuesto un modelo de la recta numérica mental con la característica principal de que se encuentra espacialmente orientada de izquierda a derecha (Dehaene, Bossini, y Giraux, 1993; Hubbard, Piazza, Pinel, & Dehaene, 2005). Para lograr la representación de la línea numérica existe una relación entre números y espacio, lo que desempeña un papel importante en la intuición numérica.

La evidencia de una organización espacial de la línea mental del número proviene de estudios que demuestran una asociación entre la información espacial y numérica, mediante la cual un pequeño número (por ejemplo, 1, 2) se encuentran asociados con el lado izquierdo en la línea numérica y por ejemplo, 8, 9 con el lado derecho de la línea numérica por tener mayor tamaño (Dehaene, 1993).



(Piazza, 2010)

El módulo Analógico sirve para acceder a la línea numérica. Los módulos funcionan de manera independiente de acuerdo a la tarea o al estímulo que se solicite; es decir, en un dictado de números el módulo que se activa sería el verbal auditivo, en una serie numérica con incógnitas arábicas el módulo que se activaría sería el módulo visual-arábigo.

De acuerdo a esta teoría se podría decir que la representación del número emerge como una representación completamente abstracta de objetos que se encuentren en el espacio, recurriendo a trazar la representación de los números en una línea que se encuentra situada en el espacio y se tiene de izquierda a derecha para representarse dicha cantidad.

En los sujetos con trastorno de cálculo se sugiere que presentan dificultades espaciales con la línea que contiene los números ordenados de forma creciente, es decir, su línea contiene errores de organización y de cálculo espacial entre un número y otro al momento de realizar una comparación.

➤ Efecto de distancia y efecto de tamaño

“Para demostrar que las habilidades humanas para la aritmética tienen una base biológica con una larga historia evolutiva, no es suficiente demostrar que los animales y los bebés pre-verbales poseen rudimentarias capacidades de procesamiento de números. También se tiene que demostrar que existen homologías profundas entre las capacidades humanas y de los animales que sugieren una continuidad filogenética” (Dehaene, 1993, p. 6).

Los humanos y los animales presentan dos efectos en común que son el efecto de distancia y efecto de tamaño, el efecto de distancia es una disminución sistemática y monótona en el rendimiento de numerosidades y la discriminación conforme la distancia numérica entre los números disminuye (Dehaene, 1997).

El efecto de tamaño indica que para la distancia numérica igual, disminuye el tamaño creciente de números. Ambos efectos indican que la discriminación de la numerosidad, como el de muchos otros parámetros físicos, obedece a la ley de Fechner (Dehaene, 1997).

Los efectos de distancia y de tamaño se han probado en varias especies animales. Cada vez que el animal debe identificar la mayor de las dos cantidades numéricas o decidir si dos cantidades numéricas son iguales o no (Gallistel y Gelman, 1992). Cabe subrayar aquí que los animales no se limitan a procesar pequeños números, las palomas, por ejemplo, pueden discriminar con fiabilidad 45 de 50 picotazos (Rilling &McDiarmid, 1965).

El efecto de tamaño indica simplemente que, como las cantidades se hacen más grandes, necesitan una mayor distancia numérica entre ellas para lograr el nivel de discriminación mismo.

Los efectos de distancia y tamaño no se han estudiado sistemáticamente en los bebés humanos todavía, pero la evidencia disponible sugiere que fácilmente pueden discriminar 2 frente a 3 objetos, de vez en cuando 3 o 4, algunas veces 4 versus 5, pero no 4 versus 6 (Starkey y Cooper, 1980).

Un estudio reciente indica que los bebés pueden distinguir 8 frente a 16 objetos visuales, incluso cuando todas las señales de tamaño, densidad y la ocupación son controlados (Göbel, Walsh &Rushworth, 2001).

Los efectos de distancia y tamaño indican que los animales y los bebés parecen poseer sólo una representación borrosa de números, en la que la imprecisión crece proporcionalmente al número representado. Como consecuencia de ello, sólo un número muy pequeño (hasta alrededor de 3) se puede representar con precisión, mientras que otras cantidades numéricas son cada vez más imprecisas.

En resumen, el procesamiento matemático, tanto en animales como en humanos, es influido por efectos de distancia y tamaño, incluso cuando los números se presentan en una notación simbólica sugiere dos conclusiones: en primer lugar, el cerebro humano adulto contiene una representación analógica de la cantidad numérica muy similar a la observada en los animales y en los niños pequeños, organizados por proximidad numérica y con borrosidad creciente de números más y más grandes.

En segundo lugar, cuando se presenta con palabras de números y números arábigos, el cerebro humano convierte estos números internos de su formato simbólico a la representación analógica de la cantidad.

Efecto de distancia

En la teoría de Dehaene se encuentra un concepto fundamental que es el efecto de distancia, éste se manifiesta experimentalmente en un aumento considerable del tiempo que tomamos para comparar dos números en la medida más cercana (Dehaene, 1997). Por ejemplo, en uno de los experimentos llevados a cabo en adultos se observa de manera sistemática que lleva más tiempo decidir que 71 es más grande que 65, que la misma decisión entre 79 y 65.

El acceso interno a la cantidad parece ser un paso obligatorio en el procesamiento de número, porque un efecto de distancia se encuentra incluso cuando los sujetos sólo tienen que decir si dos dígitos son iguales o diferentes (Dehaene y Akhavein, 1995).

Efecto de tamaño

El efecto de tamaño se refiere al hecho de que, para igual distancia numérica, la discriminación entre dos números empeora conforme aumentan sus

valores numéricos. Es decir, en una tarea de comparación de números es más difícil decidir entre 9 y 8 que entre 3 y 2 (Dehaene, 1997).

La comparación de los tiempos de reacción y las tasas de error son una función continua, convexa hacia arriba de la distancia, similar a las curvas de comparación psicofísica. El efecto de tamaño se refiere a subitizar, nuestra capacidad para nombrar rápidamente las numerosidades de un conjunto de objetos presentados simultáneamente cuando se está por debajo de 3 o 4, pero no más allá (Mandler & Shebo, 1982; Dehaene & Cohen, 1994).

También se encuentra en los humanos al calcular. Incluso en adultos altamente entrenados, multiplicar y la comparación de dos dígitos de gran tamaño como 8 y 9 es significativamente más lenta y propensa a errores que al realizar las mismas operaciones con los dígitos 2 y 3 (Göbel, Walsh, & Rushworth, 2001).

➤ Subitización

La subitización se presenta en infantes en un primer momento, en la subitización los bebés logran distinguir hasta 3 objetos, después del aprendizaje que se obtiene con la subitización los bebés van desarrollando más la línea numérica que es lo que con el tiempo le permitirá hacer comparaciones cada vez mayores.

Estas representaciones son imprecisas y esta falta de exactitud crece con el incremento del valor cardinal. Sin embargo la precisión mejora con el desarrollo. Por otro lado, resultan dependientes del radio de las cantidades, de forma que la capacidad de discriminar conjuntos de diferente valor cardinal es sensible al radio de las cantidades que se comparan.

Las representaciones son abstractas porque son independientes de la modalidad sensorial, y en consecuencia, se pueden estimular visualmente y se

producen por una matriz de puntos, una secuencia de sonidos o de una ordenación de acontecimientos.

Los números representados pueden ser comparados y combinados por operaciones de adición y sustracción. La representación exacta de cantidades pequeñas, menores de cuatro elementos y que son posibles mediante la elaboración en la memoria de trabajo de modelos, en lo que cada objeto del conjunto es representado mediante un único símbolo mental (Le Corre & Carey, 2007; 2008).

Los niños con algunos meses de nacidos son capaces de elaborar representaciones de conjuntos pequeños de objetos, memorizarlas y utilizarlas para realizar comparaciones independientes de la modalidad sensorial, empleada para presentar los estímulos y de otras características de los objetos tales como la forma y el tamaño.

➤ Comparación y cálculos aproximados

Un factor para desarrollar el trastorno de cálculo se puede encontrar en el sentido de número (Butterworth, 1999), el principal problema en los niños con trastorno de cálculo radica en el módulo de la numerosidad, que es el módulo analógico que se encarga de hacer comparaciones y cálculos aproximados, (Ta'ir, Brezner & Ariel, 1997), también se encuentra que aparte de presentar un problema en los cálculos aproximados también muestran grandes errores en las tareas visuales donde se les pide que comparen números en codificación arábica.

El modo como comparamos números entre sí y efectuamos multiplicaciones revela que nuestro cerebro no utiliza un código digital (como sí lo hace un ordenador), sino que más bien implica toda una representación interna cuantitativa y continua, más parecida a un dispositivo analógico, al comparar no se precisa

una memorización procesual, lo contrario de lo que ocurre con la multiplicación, que obliga al almacenamiento de resultados intermedios.

Este fenómeno se ha interpretado como una consecuencia de la interferencia en la activación de las representaciones de los números, a medida que disminuye la diferencia entre su valores absolutos; y asimismo, se ha relacionado con la idea de que la imagen que el cerebro elabora en torno a las cantidades se ajusta más a una representación de magnitudes que a la de los elementos discretos.

➤ Efecto de asociación espacial numérica y código de respuesta (SNARC)

Este término hace referencia al hecho de que, en experimentos de tiempo de reacción en tareas de comparación, ante un número elevado las personas respondemos más rápidamente con la mano derecha que con la izquierda. Y lo contrario sucede ante un número bajo.

Esta relación entre números y espacio apareció también en personas zurdas, en diestros con las manos cruzadas, e incluso ante imágenes especulares de dígitos. Sin embargo, cuando la tarea se hizo con estudiantes iraníes, que habían aprendido a leer de derecha a izquierda, tendió a invertirse el resultado, lo que parece indicar que la dirección de esta asociación números-espacio está influida por la cultura (Shalev, 2007).

La ordenación espacial numérica (SNARC), se probó a través de experimentos en los que el participante debía de juzgar la naturaleza par o impar de dígitos y en lo que se medía el tiempo de reacción para ejecutar la respuesta a partir del movimiento de la mano, por ejemplo al pulsar una tecla (Dehaene, Bossini y Giraux, 1993).

Esto demuestra que existen diferencias en los tiempos de reacción de cada mano, de forma que se generan respuestas más rápidas y con una menor frecuencia de errores para números pequeños con la mano izquierda con relación a los tiempo empleados con la mano derecha. Pero con números grandes el efecto es inverso. El efecto SNARC fue interpretado en el contexto del “Modelo triple código” como la estructura anatómica y funcional empleada para el procesamiento de números.

Según este modelo, basado en el análisis de imágenes y en el estudio de discapacidades por lesiones cerebrales, regiones específicas de ambos hemisferios cerebrales construyen una representación de la forma visual del estímulo- número y, desde allí, se accede a otra región específica, donde se asigna el contenido semántico (la magnitud a la que el estímulo hace referencia) (Dehaene, 1995).

Algunas propiedades de los números, como la paridad, estarían asociadas con la región de la representación visual. La percepción del estímulo activa la región de la percepción visual y ésta, a su vez y de manera automática, activa la región de la codificación semántica dando lugar al efecto SNARC.

En un estudio realizado por Dehaene (1993) se les pidió a los participantes que hicieran paridad (par / impar) con el fin de determinar si eran más rápidos para responder a los números pequeños con la mano izquierda y a los números mayores con la mano derecha, de ahí se desprende un efecto que subyace a la línea numérica el cual se llama efecto SNARC (asociación espacial numérica y código de respuesta).

Los autores encontraron que los tiempos de respuesta fueron sistemáticamente modulados por el dígito de magnitud, los dígitos pequeños se responden más rápidamente con la mano izquierda en comparación con la mano

derecha, mientras que cuando se presentaban dígitos grandes se respondía más rápidamente con la mano derecha en comparación con la izquierda.

Los resultados obtenidos por Dehaene sugieren la noción de que la representación de la magnitud en la línea numérica se encuentra inherentemente relacionada con el espacio y es por lo tanto susceptible a dimensiones espaciales que ocupan los números.

Esto nos indica que la representación interna del número y magnitud al aumentar tienden hacia la derecha en una línea de números hipotética mental.

Similarmente, Fischer, Castel, Dodd & Pratt (2003) encontraron que la presentación de los números pequeños (centrado en una pantalla) se aceleran a la detección de los estímulos periféricos en el campo visual izquierdo, mientras que el centro de la presentación de un número mayor es mas rápido en la detección del campo visual derecho.

El determinar hacia la izquierda o hacia la derecha tiene relación directa con dos efectos que son el efecto SNARC y el efecto SOAR. El primero postula que las cantidades mayores tienden hacia la derecha, y cuando se pide una tarea de comparación con cantidades grandes la mano que intenta responder a este tipo de tarea es la derecha por la magnitud de la cantidad; se presenta el caso contrario con el lado izquierdo el cual parece que se activa con cantidades pequeñas.

Sucede un efecto similar con el efecto SOAR, el cual actúa de la misma manera, pero aquí no es la mano la que determina como responder a una tarea de comparación, aquí es la mirada. A cantidades mayores la mirada tiende hacia la derecha y cuando son cantidades menores tiende hacia la izquierda.

El por qué con cantidades mayores la vista gira hacia la derecha tiene su correspondencia con la línea numérica, porque hacia la derecha se va

presentando un aumento de la cantidad mientras que para el lado izquierdo se presentan cantidades más pequeñas en comparación con el lado derecho.

Los resultados derivados del estudio del efecto SNARC han sido interpretados como una prueba de que en la búsqueda de una respuesta a juicios relativos a la naturaleza de los números, el individuo accede a una representación espacial interna de lo mismo que en último término, condicional la velocidad de ejecución de las respuestas.

Esta asociación número-espacial es concebida como un modelo o representación semejante a una línea continua que discurre orientada de izquierda a derecha y en el que cada número corresponde a un punto de la misma (Gevers, 2006; Mapelli, Rusconi & Umiltà, 2003; Rusconi, Kwana, Giordano, Umiltà & Butterworth, 2006).

➤ El efecto de sesgo espacial en la respuesta de frecuencia en función de la operación aritmética (SOAR)

El efecto SOAR, que se entiende como un cambio de la atención a lo largo de la línea mental numérica, es el movimiento de la mirada al resolver una ecuación matemática. Al tener relación con el efecto SNARC, tal pareciera que si la operación que se va a realizar es con pocos dígitos el movimiento del ojo tiende a ser hacia la izquierda, y si son cantidades grandes los ojos tienden a moverse hacia la derecha; se comparte esta característica con el efecto SNARC (Dehaene, 2009).

En un estudio de Dehaene (1995) se realizó un experimento donde se evaluó la relación del módulo analógico en relación con el efecto SNARC y el efecto SOAR, se estuvo monitoreando el movimiento ocular y las manos que se utilizaban para contestar. Se logró determinar que en representaciones

analógicas, al presentarse mayor número de objetos dentro de las cajas , se tendía a contestar más con la mano derecha; lo contrario sucedía cuando se presentaban un menor número de objetos, éstos tendían más a responder con la mano izquierda.

Lo mismo sucedía con la mirada cuando se monitorean los ojos. Cuando se presenta un mayor número de objetos la mirada se dirige a la derecha; y cuando es menor, es hacia la izquierda. Se logró probar que se presenta mucha relación entre los ojos y la mano con la que se responde, lo que hace concluir que ambos efectos se presentan al mismo tiempo y funcionan de manera coordinada dependiendo de la complejidad de la tarea.

➤ El efecto momentum operacional (OM)

Existe un momento entre la representación mental y la emisión de una respuesta por parte del sujeto cuando realiza una operación matemática, es decir, importa el tiempo en que el sujeto se tarda en responder y cuando lo hace acertadamente. A esta conjunción entre el tiempo requerido y los aciertos se le conoce como “Momentum Operacional”, el cual es un paralelo entre “momentum representacional” y el “momentum operacional”.

Este efecto se encuentra en armonía con la hipótesis del sentido de número y cómo esta se puede llegar a presentar en una línea numérica.(Hubbard y cols., 2005) pues representaría el tiempo y el éxito sobre cómo los sujetos van ordenando y comparando las magnitudes dentro de esta línea.

Esto nos indica que los resultados se deben presentar en un aumento de aciertos conforme el niño va realizando más ejercicios del mismo tipo de operación, el caso contrario se presenta en la resta, la cual aunque se sigan haciendo ejercicios del mismo tipo no aumenta el número de aciertos, sino que se mantiene el mismo promedio de errores y aciertos.

En un artículo de Dehaene (2009), el autor prueba los módulos que conforman su modelo que son el módulo Visual, Verbal y Analógico de la magnitud. En este artículo se basa en dos experimentos con tareas aritméticas como base principal, pero desglosa los resultados en formas visuales simbólicas y no simbólicas. En ese artículo se trabajó con 3 efectos cognitivos que es el efecto SNARC, OM y SOAR.

Los sujetos por lo general tienden a subestimar resultados que se presentan en forma no simbólica. Sin embargo, este sesgo de subestimación fue modulada por la operación aritmética: de acuerdo con el efecto OM, la diferencia entre los elegidos y los resultados correctos (sesgo de respuesta) es más positivo para la adición que la sustracción.

Este efecto OM fue muy fuerte para la notación no simbólica y también fue significativo para la notación simbólica (Dehaene, 2009). El efecto de OM es menor para los estímulos simbólicos, esto no es de extrañar, ya que sólo refleja la precisión de los sujetos con mayor representación simbólica que con los estímulos no simbólicos.

La mera presencia de tal efecto para el cálculo con números arábigos, es un importante hallazgo, ya que sugiere que una representación similar de magnitud analógica se utiliza durante la aritmética aproximada simbólica y no simbólica. En general, los resultados son consistentes con la idea de una estrecha relación entre las operaciones espaciales y la aritmética.

➤ La fracción de Weber

A medida que aumenta la magnitud que representa el número, va aumentando la imprecisión, es decir, se comporta como magnitud física continua. Todo estímulo requiere ser aumentado en una proporción constante de su magnitud, para que se perciba un cambio de sensación.

Tal fracción no es realmente constante ya que al acercarse los valores del estímulo a los umbrales de absoluto y terminal, la fracción cambia y la ley no se cumple, pues el incremento del estímulo crece en mayor proporción que el estímulo, y la fracción no es constante sino que consiguientemente aumenta.

La ley de Weber se formula de la siguiente manera $K=\Delta E/(E+a)$. ΔE (*Incremento de intensidad del estímulo*), la *discriminación sensorial relativa* a definirse como $\Delta E/E=Fracción\ de\ Weber$ y expresa la relación del incremento de la intensidad que tenía dicho estímulo antes de poder percibirse. Cuando el valor del estímulo es muy pequeño entonces “a” tiene peso suficiente como para reducir una modificación significativa en el valor de la fracción pero no a la intensidad media del estímulo (Fontes,1994).

La ley de Weber establece dos cosas:

- Que la relatividad es el principio de la intensidad sensorial. El umbral diferencial ha aumentado cuando el valor del estímulo se incrementa.
- La constante de Weber sirve para determinar la agudeza o sutileza de las diferentes modalidades sensoriales (Fontes,1994).

En un estudio realizado por Gilmore y De Smedt (2010) para evaluar al módulo analógico en diferentes categorías de representación se utilizó el programa *panamath*. Las tareas a realizar eran operaciones a través de dos categorías: simbólicas y no simbólicas.

Este experimento se llevó a cabo con el objetivo de determinar en cuál de las dos formas de representación había más errores y también para ver la influencia de la fracción de Weber, el efecto Snarc y el efecto Soar. Se presentaron más errores en el módulo visual cuando lo que se les pregunta sobre cantidades mayores (80,100,70); lo mismo aplicaba para el módulo analógico en lo que concierne a los efectos y a la fracción de Weber. Se logró determinar que al ser

mayor el estímulo o la comparación entre ellos, aumenta la fracción de Weber; y se pudo lograr una relación directa entre los dos efectos.

Una vez establecida la relación entre los efectos y la fracción de Weber se observó que ésta aumenta cuando el estímulo es mayor. De manera similar, en un estudio realizado por Dehaene (1995) ayuda a comprender a qué se debe ese incremento de la fracción y el papel de la representación numérica. Se evaluó el módulo analógico y la fracción de Weber como intensidad interna de representación a través del programa *panamath*. La tarea consistía en elegir si varios objetos eran iguales o diferentes. Resultó que para los sujetos era más sencillo decidir cuándo se presentaban diferencias, que determinar cuando eran iguales.

Esto tiene relación con la línea numérica y con la fracción de Weber al presentarse mayor diferencia en la representación interna del estímulo y por lo mismo, pudieron compararlos de manera más rápida y más sencilla. Lo contrario pasa cuando son iguales los estímulos y es más difícil de determinar, porque la representación interna no es tan alta como para comparar y poder localizarla en un segmento en específico de la línea numérica.

Módulo visual arábigo

Este módulo se refiere a la representación del número en carácter arábigo, lo cual lo hace una representación visual. Se codifican los numerales en notación arábigo y se utiliza principalmente para realizar operaciones de cálculo de varios dígitos escritos y que requieren una precisión. Dehaene (1997) propone que existen dos vías para la lectura de números en forma verbal y en forma arábigo:

1. Ruta superficial: basada en la aplicación de los correspondientes algoritmos de conversión y de acuerdo a las reglas específicas del lenguaje, es la que permite leer cualquier número arábigo, aunque sea la primera vez que se ve.
2. Ruta semántica profunda: funciona sólo con ítems familiares que poseen una entrada léxica específica. A través de la ruta léxica, una representación semántica del input numérico accede y permite la recuperación de la entrada léxica adecuada en un output fonológico. La ruta léxica funciona sólo con números familiares o significativos que han desarrollado una entrada léxica específica (Dehaene, 1997).

La forma visual arábigo del número es en la que los números son representados como cadenas de dígitos en una memoria auxiliar interna de naturaleza viso- espacial. En este nivel, la representación del número 52 como una lista ordenada de identidades de dígitos puede ser indicada como 5 y 2 (Caramazza y Hillis, 1990).

Se postula que el funcionamiento de ambas rutas de recodificación, semántica y asemántica, son independientes. Por una parte, la lectura de números arábigos muy familiares, como fechas famosas o marcas de coches, se realiza mediante la ruta profunda porque esos numerales han sido lexicalizados; y por tanto se puede acceder a la representación de manera directa, mediante una recodificación semántica.

Por el contrario, la lectura de secuencias de números no familiares implica una recodificación a semántica mediante la aplicación de los algoritmos de conversión, pero al no ser semántico no garantiza el acceso al significado del número, a la cantidad que representa (Salguero, 2007).

Se plantea que la lectura de números es estructuralmente similar a la lectura de palabras, aunque estos procesos probablemente estén basados funcional y anatómicamente en vías diferentes (Cohen, 1994). De hecho, en la mayoría de los modelos de lectura de palabras, la ruta superficial se basa en la correspondencia entre letras y sonidos, es decir, en las reglas de Conversión Grafema Fonema, por consiguiente, esta ruta no es válida para las palabras irregulares.

Sin embargo, todos los números arábigos son regulares con la posible excepción de los nombres de las décadas, que es frecuente en distintos idiomas, por ejemplo, en español, “veinte”, “treinta”, etc. (Salguero, 2007).

Por tanto, al igual que en la lectura de palabras, la lectura de números arábigos implica tres principales vías de procesamiento: una ruta superficial no léxica, una ruta semántica profunda y posiblemente, una ruta léxica a semántica. Pero existen dos diferencias importantes con respecto al procesamiento de las palabras:

1. La existencia de una ruta no léxica que permite acceder a la información semántica. Al contrario que las no-palabras (combinaciones de letras que no forman una palabra, por ejemplo, “aghg”), las cuales no tienen significado, los “numerales no léxicos”, incluso aquellos que el lector ve por primera vez, son significantes en la medida en que representan cantidades o magnitudes específicas. La ruta no léxica para la comprensión numérica explica el que se pueda comprender la cantidad que representa cualquier número arábigo, sea familiar o no (Salguero, 2007).

2. Una segunda discrepancia que se presenta con los modelos de lectura de palabras se refiere al funcionamiento de la ruta superficial en la lectura de números. En la lectura de palabras esta ruta se emplea exclusivamente para las regularidades grafo-fonémicas y no hace uso de la información léxica.

En la lectura de números, cada número se traduce, no en uno o varios fonemas, sino en una o varias palabras de números. En algún momento de este proceso, los rasgos fonológicos de las palabras de los números tienen que ser recuperados de un almacén léxico.

Aunque la ruta superficial se represente en el modelo de Cohen con una flecha simple, actualmente se sabe que corresponde a un proceso complejo de acceso léxico y de composición de acuerdo con las reglas de sintaxis numérica (Cohen, 1994).

El modelo postula la idea de que se presenta una disociación entre la lectura de números que tienen significados y la lectura de números que no presentan ningún significado. Los números que son conocidos se procesan diferente de aquellos que son ajenos. Aquí es donde se hace la distinción de la ruta Léxica que corresponde a los números que conocemos y que no son familiares; la ruta no léxica es para aquellos números que no conocemos y no son familiares (Cohen, 1994).

Se propone que existe una ruta semántica para cuando se quieren leer números de forma visual o verbal, hay una ruta léxica semántica para números arábigos familiares (se acede a un almacén de conocimientos semánticos de los números), y la contra parte que sería la ruta no semántica (permite acceder a la representación de la magnitud asociada a cualquier número que esté compuesto correctamente) (Salguero, 2007).

Módulo Verbal

En este módulo se encuentran tareas de lectura de número y la pronunciación de números; en éste se crea y se manipula el lenguaje necesario para designar a los numerales y se forma la secuencia correcta de palabras para designar y expresar números y cantidades. El código auditivo-verbal se emplea, por ejemplo, para contar, para codificar la estructura verbal de la palabra del número; en la que los números son representados como secuencias de palabras organizadas sintácticamente.

El código verbal que se encuentra en el hemisferio derecho en las áreas perisilvanas, en este módulo se encuentran las secuencia numéricas verbales y el procesamiento de la información verbal auditiva. Esta representación auditiva es el primer código para acceder a la memoria verbal para hechos aritméticos, (“nueve veces nueve, ochenta y uno”) (Salguero, 2007).

De acuerdo a este modelo las dos rutas básicas para resolver cálculos aritméticos simples son el código verbal y el código analógico. Una forma directa de cómo actúa el código verbal es cuando se pide resolver una tarea de manera directa, por ejemplo 2×4 , que se descompone en 2 secuencias diferentes, la primera es (dos por cuatro) y la segunda secuencia ya terminada es (dos por cuatro es igual a ocho).

Se involucran dos módulos para el procesamiento de la información y la resolución de esta tarea, primero el código verbal y de ahí pasa al código visual. De hecho, se presenta la hipótesis de que para la mayoría de las operaciones de la vida cotidiana, se encuentran involucrados estos dos módulos para la solución de problemas; el módulo analógico funciona en estos casos sólo para acceder a la línea numérica.

Se puede acceder de manera directa a la solución del problema 2×4 sin que se utilice otro módulo (Campbell, 1994). Cuando se pide que la solución sea verbal

no necesita pasar a otro módulo, sino que el módulo verbal puede procesar toda la información (Salguero, 2007).

Existe una diferencia fundamental entre el procesamiento de números y de las palabras. Los números aparentemente no necesitan representaciones léxicas, no es posible que exista una representación interna para cada número y esto parece tener mucha lógica, porque el hecho de que existiera una representación interna para cada número denotaría que debería de existir una cantidad infinita de representaciones, es por eso que para simplificar el proceso lo único que debemos de conocer son los primeros diez dígitos y conocer las reglas combinatorias que nos permitan crear unidades mayores que darán pie a nuevas cantidades.

Cuando se leen numerales arábigos son similares a cuando se leen palabras, pacientes que presentan trastorno de cálculo o alexia para las palabras, presentan problemas para leer numerales de multidígito; esto demuestra que ambos déficits reflejan una falla funcional que está relacionada con la estructura de la representación de los caracteres numéricos o alfabéticos. En el caso de los números esta representación de número se produce y se ve mediada en el módulo visual (Cohen y Dehaene, 1991).

El módulo Verbal, tal y como lo menciona Dehaene, se encarga de procesar la información que llega como estímulo auditivo (Dehaene y Cohen 1994). Postula que este módulo, cuando procesa la información, se presenta como una numerosidad que es la vía de acceso a la línea numérica que ayuda a la solución del problemas.

Dehaene y Akhavein (1995) hicieron un estudio de caso de Naun, un paciente que presentaba trastorno de cálculo; se trataba de determinar cuál módulo presentaba daño y cuáles eran las variables o los síntomas que se podían presentar en cada módulo. En específico se enfocaron al módulo auditivo porque afirman que se tiene muy poco conocimiento acerca de este módulo; como hallazgos encontraron que el módulo auditivo sí presentaba un daño significativo en tareas verbales o

auditivas. El principal error que presentaba era que al hacerle una serie de dictado de números, la espacialidad que debería de haber entre los números no era la correcta.

También encontraron en este estudio que siempre que se muestre daño en un módulo también se presentará en los demás, no pudieron determinar en qué proporción, pero postulan que sí se presenta comorbilidad entre los 3 módulos. La hipótesis es que el procesamiento de la información se codifica en diferentes módulos, y cuando falla algún módulo los otros dos tratan de suplir esa tarea que dejó de hacer y de esta manera empieza a causar daño en los otros módulos.

En los modelos de procesamiento numérico se asume que para llegar a la información fonológica que nos permite nombrar un dígito arábigo como “3”, tenemos que acceder previamente a su significado (la cantidad 3). Esto no es necesario cuando leemos una palabra numérica como “tres”, pues podemos pronunciarla sin entender a qué cantidad se refiere.

Algunos autores proponen que las palabras numéricas y los dígitos pueden nombrarse recuperando su significado (ruta semántica) o no (ruta asemántica). Sin embargo, mientras que con las palabras numéricas estas dos rutas funcionarían a la vez; con los dígitos, la ruta *asemántica* sería débil y lenta (Dehaene, 1992), de manera que sólo se haría evidente cuando la ruta semántica estuviese dañada.

Recientemente se ha podido comprobar que incluso en personas que no presenten un daño pueden acceder directamente a la información fonológica de dígitos arábigos sin que se tenga que recurrir al significado (Herrera y Macizo, 2011, 2012).

Otra parte es que en las tareas de denominación bajo el formato analógico pertenecen a una misma categoría semántica; los tiempos de respuesta suelen ser mayores cuando lo que se muestra en la tarea corresponde a diferentes

categorías (círculos, cuadros y triángulos), que un contexto heterogéneo en comparación con un contexto homogéneo donde sean de la misma categoría todos los objetos (Kroll & Stewart, 1994).

Cuando se pretende denominar un dibujo, lo primero que se hace es crear o definir el concepto. Cuando se habla del contexto homogéneo se activa la misma categoría que se está presentando en la tarea, esto se traslada directamente al nivel léxico (lemas) después se elige la más adecuada para poder recuperar su forma (fonología) y de esta manera la podamos pronunciar. En la denominación de palabras, la palabra escrita activa directamente el lema y su fonología, sin activación semántica, por lo que no se da tal competición.

La utilización de cada tipo de código depende de las demandas de la tarea. Así, el código auditivo-verbal permite codificar numerales en forma verbal, y se emplea, por ejemplo, para contar. El visual-arábigo codifica los numerales en notación arábigo y se utiliza, principalmente para operaciones de cálculo de varios dígitos escritos. Y por último, la representación analógica de la magnitud, se usa para manipular cantidades, por ejemplo, en una tarea de comparación numérica, o en la realización de cálculos aproximados.

El modelo de triple código y el trastorno de cálculo

Se sugiere que los niños con trastorno de cálculo carecen del dominio de conceptos de magnitud, ordinalidad y cardinalidad, ya que no se han encontrado pruebas de que utilicen la línea numérica como los niños sin el trastorno, ni son capaces de ampliarla, es decir, representar números mayores para acceder a ellos en tareas de cálculo, además de que encuentran dificultades en la subitización (Rosselli y Matute, 2011).

Es necesario comprender las diferencias en el procesamiento numérico en sujetos con trastorno de cálculo y de sujetos que no lo padecen. Para ello es importante retomar los hallazgos de Piazza (2010), que evaluó la comparación entre dos módulos: el analógico y el visual; con el objetivo de determinar cuál módulo se encuentra más afectado en niños que presentan el trastorno de cálculo.

Los hallazgos que obtuvieron fueron importantes para el sustento de esta tesis. Por una parte, se muestra la fracción de Weber que mide la precisión interna de la representación misma, y es por lo tanto un índice sensible de la agudeza de número.

Los niños con trastorno de cálculo presentaron resultados inferiores, básicamente en la fracción de Weber, cuya cifra entre más se acerque a cero indica un mejor resultado, lo que refleja la representación interna. El resultado de la fracción de Weber en los niños con trastorno de cálculo fue de 0.34 mientras que los niños que no presentan este trastorno fue de 0.25.

Otro hallazgo importante que arroja este estudio es sobre los tiempos de reacción, en los cuales, los niños con trastorno de cálculo muestran un tiempo de reacción de 1314 milisegundos, mientras que para el grupo control los resultados en tiempo de reacción fue de 1271 milisegundos. Como se observa, los

participantes con trastorno de cálculo presentan tiempos de reacción más lentos y más errores que los sujetos sin el trastorno.

En un artículo publicado por Smedt (2011) donde la influencia de la notación simbólica y no-simbólica en niños con trastorno de cálculo de 2° y 4° grado de primaria. Básicamente, el autor se plantea que existen dos explicaciones a la condición sobre este trastorno: la primera hipótesis señala que el módulo visual presenta un daño y que al afectarse no permite entender ni representar cantidades, lo cual da pie a que se presente el trastorno de cálculo.

La segunda hipótesis indica que el problema radica en el acceso a la línea numérica. Las representaciones no simbólicas se ven afectadas por el efecto de proporción o distancia, es decir, que cuando se comparan dos magnitudes muy cercanas entre sí es más lenta y menos exacta realizar tal comparación que cuando hay una mayor diferencia entre éstas.

El desarrollo de las representaciones simbólicas se debe trazar sobre las representaciones no simbólicas preexistentes de las magnitudes. Así mismo, el entendimiento de las magnitudes numéricas ayuda a resolver los problemas y mejorar la calidad de las respuestas. Hay evidencias de que los niños que presentan dificultades matemáticas tienen dañadas las funciones de representaciones de magnitudes.

Si bien, la función de los módulos es codificar la información en un formato específico, también son una expresión del adecuado acceso a la línea numérica; es por eso que alguna falla en cualquiera de los módulos o la falta de intercambio de información entre ellos podría ser una de las causas del trastorno de cálculo; que también se podría traducir como una falta de acceso a la línea numérica o una desconexión entre la línea numérica y el sentido de número. Los errores que se podrían esperar en una falla en cualquiera de estos dos conceptos sería errores al

comparar magnitudes, realizar operaciones o identificar el orden en una serie numérica.

Lo anterior establece que sí hay una explicación del trastorno de cálculo desde este modelo, sin embargo, es necesario conocerlo desde una perspectiva más general.

3. Trastorno en el aprendizaje de cálculo

Definición, prevalencia y comorbilidad

El trastorno de cálculo es un déficit en el aprendizaje que afecta la adquisición del conocimiento sobre números y aritmética (Piazza, 2010). Esta definición nos indica que el trastorno de cálculo tiene su origen en el sentido numérico, el cual no permite acceder de manera correcta a la línea numérica, que a su vez impide identificar cantidades numéricas. También se pueden presentar otros tipos de errores, pero el que es de interés para este estudio es el error en el sentido de número, la línea numérica y las cantidades numéricas.

Al tratarse de un problema de tipo cognoscitivo, el desarrollo del sentido numérico se ve alterado y se observan dificultades en una variedad de tareas numéricas como la comparación de magnitudes, aproximaciones, operaciones aritméticas y ordenación de números en una línea numérica (Ardila, Matute y Roselli, 2005). Los estudios sobre la prevalencia del trastorno indican que afecta entre el 3 y el 6 % de la población de sujetos en edad escolar (Von Aster y Shalev 2007).

Con el fin de determinar que en los sujetos con trastorno de cálculo hay alteraciones en el desarrollo de las estructuras que sirven al procesamiento matemático, y dan como resultado una inmadurez en el sentido numérico, Piazza (2010) encontró que los niños con trastorno de cálculo presentan una edad mental matemática de 5 años menos en comparación con el grupo control.

Esto es lo que se reportó en este estudio, sin embargo no se puede generalizar como una condición en general. En dicho estudio se evaluaron sujetos

con una edad cronológica de diez años, resultando que los sujetos con trastorno de cálculo reflejaban una edad mental matemática de 5 años.

Al analizar la cronicidad del trastorno, Shalev (2007) concluyó que esta alteración es una dificultad de aprendizaje que persiste hasta la adolescencia en casi la mitad de los sujetos. A través de un estudio longitudinal encontró que el 95 % de los niños que fueron diagnosticados con trastorno de cálculo en el quinto grado, seis años después continuaban desempeñándose dentro del cuartil más bajo para su grado escolar.

Criterios Diagnósticos

El Manual de Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales DSM IV-TR (American Psychiatric Association, 2000) especifica que la característica esencial del trastorno de cálculo es una capacidad aritmética (medida mediante pruebas normalizadas de cálculo o razonamiento matemático administradas individualmente) que se sitúa sustancialmente por debajo de la esperada en individuos de edad cronológica, coeficiente de inteligencia y escolaridad concordes con la edad.

A continuación se presentan los criterios diagnósticos principales:

- A. La capacidad para el cálculo, evaluada mediante pruebas normalizadas administradas individualmente, se sitúa sustancialmente por debajo de los esperados dados la edad cronológica del sujeto, su coeficiente de inteligencia y la escolaridad propia de su edad.
- B. El trastorno del Criterio A interfiere significativamente el rendimiento académico o las actividades de la vida cotidiana que requieren capacidad para el cálculo.
- C. Si hay una enfermedad neurológica o médica o un déficit sensorial, se codificarán en el Eje III. En el trastorno de cálculo pueden estar afectadas

diferentes habilidades, incluyendo las «lingüísticas» (ej. comprensión o denominación de términos matemáticos, operaciones o conceptos y descodificación de problemas escritos en símbolos matemáticos), habilidades «perceptivas» (ej. reconocimiento o lectura de símbolos numéricos o signos aritméticos y agrupamiento de objetos), habilidades de «atención» (ej. reproducir correctamente números o cifras, recordar el añadir números «llevando» y tener en cuenta los signos operativos) y habilidades «matemáticas» (ej. seguir secuencias de pasos matemáticos, contar objetos y aprender las tablas de multiplicar).

Para establecer que un niño se sitúa “sustancialmente por debajo de lo esperado” su rendimiento en una prueba estandarizada de matemáticas debe de situarse por debajo de 2 desviaciones típicas del promedio de la población en la prueba utilizada.

Dentro de la investigación realizada sobre el trastorno en el aprendizaje del cálculo, algunos autores se han abocado al análisis de los errores realizados por niños que sufren de este trastorno; gracias a este tipo de análisis es posible fundamentar el diseño de tareas remediales específicas.

En la siguiente tabla se describen los errores más frecuentes encontrados en niños con trastorno de cálculo así como sus características.

Errores más frecuentes en niños con trastorno de cálculo

| Tipo de Error | Características |
|---------------|---|
| Espacial | Dificultad para colocar las cantidades en columnas, seguir la direccionalidad apropiada del procedimiento (Ej. Sustraer del minuendo). |
| Visual | Dificultad al leer signos aritméticos, olvidos del punto decimal. |
| Procedual | Omisión o adición de algún paso en el procedimiento aritmético, aplicación de la regla aprendida para un procedimiento diferente al otro (Ej. $75+8=163$ operación en la cual en vez de sumar se aplica una regla de multiplicación). |
| Grafomotora | Dificultad para formar los números de manera apropiada. |
| Juicio | Errores que conllevan a resultados imposibles (ej. Cuando el resultado de una sustracción es mayor que el minuendo). |
| Memoria | Problemas para recordar las tablas de multiplicación o los procedimientos aritméticos. |
| Perseveración | Dificultad para cambiar de tarea, repetición de un mismo número. |

* Ardila, 2005, adaptado de Strang and Rourke, 1985

Como se observa, son varios los procesos cognitivos en los que se presentan errores, sin embargo, no se encuentran presentes de la misma forma en todos los sujetos con el trastorno de cálculo, sino que para conceptualizar las tendencias más comunes o de acuerdo a su gravedad, se han agrupado en subtipos, los cuales se presentan a continuación.

Subtipos de trastorno de cálculo

El trastorno de cálculo no se presenta como un problema de manera homogénea, sino que los niños que la presentan pueden padecer una variedad de errores numéricos y varía el tipo de trastorno de cálculo o la gravedad del trastorno. A continuación se presentan los seis subtipos de trastorno de cálculo propuestos por Martínez (2008) y caracterizados por la presencia de dificultades en:

- La verbalización de términos y relaciones matemáticas.
- El manejo de símbolos y objetos matemáticos.
- La lectura de números
- La escritura de números
- La comprensión de ideas matemáticas.
- La habilidad para trasladar de manera adecuada las cifras al realizar operaciones aritméticas con conversión.

Estos subtipos denotan que existe una relación heterogénea entre los sujetos que presentan el trastorno de cálculo, y se observa que cometen errores en ciertas tareas. Aunque no se pretenda evaluar los subtipos sí pueden servir como punto de referencia para reconocer los errores más comunes y asociarlos a las tareas en las cuales pueden presentarse.

4. Planteamiento del problema

Las habilidades numéricas normales requieren de la integración de tres módulos de procesamiento: Visual, Analógico y Verbal. De acuerdo a la teoría de Dehaene, para que un sujeto sea capaz de realizar operaciones matemáticas deberá desarrollar estos módulos, que existen gracias a una estructura cerebral intacta y la estimulación ambiental. El desarrollo de los módulos, que son el formato de representación y de codificación aritmética, se inicia con el módulo analógico, siguiendo con el verbal y visual.

Estudios realizados por Manuela Piazza (2010) confirman la teoría de Dehaene (1992), esta autora evaluó los 3 módulos de procesamiento para las habilidades numéricas con sujetos que presentaban trastorno de cálculo y con sujetos que no lo presentaban. Se estudiaron los módulos por separado, pero nunca los tres juntos. Lo cual sugiere que si el problema en el procesamiento se ubica en los tres módulos, debe ser posible evaluarlos para compararlos entre sí y determinar en cuáles se encuentran más errores y tiempos de reacción, entre sujetos con trastorno de cálculo y sujetos sin estas dificultades.

En niños con trastorno de cálculo se han evidenciado problemas desde el módulo analógico, sin embargo, en la vida cotidiana, los módulos verbal y visual funcionan apoyados de los numerales de manera conjunta, por lo tanto, es difícil establecer diferencias claras en el procesamiento de ambos módulos en niños con trastorno de cálculo.

Con el fin de diferenciar el desempeño de los niños con trastorno de cálculo en ambos módulos, se considera necesario evaluar el módulo verbal con estímulos no verbales a través de la comparación de frecuencias, que es donde radica la principal diferencia entre el presente estudio y los que se encuentran documentados; y el módulo visual se evaluará mediante la comparación de numerales arábigos.

Al considerar lo anterior se plantean las siguientes preguntas: ¿difiere significativamente el desempeño de niños con trastorno de cálculo al compararlos con niños sin este trastorno, en tareas de acceso numérico bajo las modalidades visual, verbal y analógica? Y ¿en cuál módulo se encuentran con peores desempeños los sujetos con trastorno de cálculo en comparación con los que no tienen este trastorno?

5. Preguntas de Investigación

¿Difiere significativamente el desempeño de niños con Trastorno de cálculo al compararlos con niños sin este trastorno, en tareas de acceso numérico bajo las modalidades visual, verbal y analógica?

¿En cuál módulo se encuentran con peores desempeños los sujetos con trastorno de cálculo en comparación con los que no tienen este trastorno?

6. Hipótesis

1. Los niños con trastorno de cálculo mostrarán medidas significativamente más altas en tiempos de reacción y porcentaje de errores en la modalidad analógica, en comparación con niños sin trastorno de cálculo.
2. Los niños con trastorno de cálculo mostrarán medidas significativamente más altas en tiempos de reacción y porcentaje de errores en la modalidad visual, en comparación con niños sin trastorno de cálculo.
3. Los niños con trastorno de cálculo mostrarán medidas significativamente más altas en tiempos de reacción y porcentaje de errores en la modalidad verbal, en comparación con niños sin trastorno de cálculo.

7. Justificación

Este trabajo se fundamenta en la teoría de Dehaene (1992;1997;2007) sobre el procesamiento numérico. Según este autor, al realizar una operación matemática, en primer lugar se codifican los estímulos recibidos, ya sean números, imágenes o palabras que designen a éstos; una vez codificados pasan a uno de los tres módulos (analógico, visual o verbal) y dependiendo del tipo de información que se trate, dentro del módulo se realiza la tarea específica y se produce una respuesta para ser emitida por el sujeto.

En la presente tesis se busca generar información para sustentar la teoría del triple código, y la principal aportación teórica radicaría en presentar estudios aparte de los reportados por el autor, replicados y contextualizados a la población de la Zona Metropolitana de Guadalajara, además de brindar nuevos caminos de investigación que superen la barrera de la descripción para hablar sobre el trastorno de cálculo.

Una vez que se sustente la teoría del triple código se contará con datos sobre los módulos evaluados y los errores presentados por los sujetos con trastorno de cálculo, se pretende, a mediano plazo, extender esta información a su aspecto práctico que consistirá en diseñar tareas específicas que apoyen a los sujetos con este trastorno a desempeñarse mejor en tareas de cálculo.

Para lograr una fortaleza metodológica que favorezca el cumplimiento de los aspectos ya mencionados se pretende reestructurar lo que se replicará de los estudios ya realizados por Dehaene. Primero se diseñarán pruebas que evalúen los módulos pero no a uno u otro, sino a los tres al mismo tiempo; lo que será una innovación, pues no se encontraron estudios similares donde se tomen simultáneamente ni se comparen entre sí.

Se tomarán los reactivos utilizados por Piazza (2010) y Deahene (2009), pero para lograr mayor precisión en la medición de tiempos de reacción, conteo de respuestas y procesamiento de los datos se adaptarán estos reactivos a un formato electrónico en un diseño de software.

Con la finalidad de obtener datos más objetivos sobre los grupos estudiados, se utilizará estadística descriptiva para caracterizar a cada conjunto de sujetos, después se recurrirá a estadística inferencial con el método T de student para grupos independientes. Estos recursos ayudarán a establecer si existen diferencias significativas entre sujetos con trastorno de cálculo y aquellos que no lo tienen, para de esta manera contar simultáneamente con una solidez teórica y metodológica.

8. Objetivos de investigación

Objetivo general

Comparar en los módulos analógico, verbal y visual a los niños con trastorno de cálculo y el grupo control con características similares, y saber en cuál de los tres módulos mostraron peores tiempos de reacción y número de aciertos en el grupo con trastorno de cálculo en comparación con el grupo control.

Objetivos particulares

1. Conocer las características de los sujetos con trastorno de cálculo y cómo afecta este trastorno en la comparación del procesamiento de número en sus 3 modalidades.
2. Identificar en cuál de los tres módulos de representación del número, propuestos por Dehaene, se presentan mayor tiempo de reacción y número de errores, tanto en niños normales como en sujetos con trastorno de cálculo.

Propósito

Identificar a sujetos con trastorno de cálculo y poder ver sus características en diferentes tareas en la fase de selección y descripción de la muestra y en la fase experimental; también determinar en qué tipo de procesamiento matemático los individuos con trastorno de cálculo presentan un mayor daño en tareas de comparación y aproximación.

Objetivo teórico

Contribuir al trabajo realizado en la teoría de la representación numérica, aplicando el modelo propuesto por Dehaene en población infantil con trastorno de cálculo, para establecer líneas de investigación sobre la formación de los procesos de representación numérica y su codificación en cualquiera de las 3 categorías.

Objetivo personal

Contribuir a dilucidar el tema de la representación numérica en sus diferentes formatos de representación, y conocer cómo y cuanto afecta el trastorno de cálculo a la representación en cualquiera de sus 3 categorías; y poder compararlo con un grupo control para poder visualizar qué tan grande es la diferencia, para así, determinar que implicaciones tiene en la educación.

9. METODOLOGÍA

Muestra:

Un total de 64 niños (14 niñas, 18 niños por grupo) de escuelas primarias públicas, con una media de edad igual a 10,69 años en un rango de 10 a 13 años; 11 en turno matutino, 21 del turno vespertino por grupo. El CI promedio de la total de la muestra es de 100,65. Ninguno de los participantes mostraron problemas visuales.

Divididos en:

Grupo de Estudio – GE

32 niños (14 niñas, 18 niños), con una media de edad igual a 10,68 con un rango de 10 hasta 13 años; 11 en turno matutino, 21 del turno vespertino. Con un CI promedio de 100,44 con un rango de 85 hasta 115, estos sujetos se caracterizan por su bajo desempeño en la prueba WRAT y porque presentan problemas matemáticos que afectan su vida académica.

Grupo Control – GC

32 niños, pareados por género, edad, turno y grado escolar con los participantes del GE. El promedio de CI del grupo control es de 100,885.

Materiales de evaluación para la selección de la muestra

1. Wide Range Achievement Test (WRAT) (Wilkinson, G. S. y Robertson, G. J. 2006). Esta prueba se utilizó para detectar aquellos niños que presentaban trastorno de cálculo. No fue la única prueba para elegir al grupo de estudio y control, sino que se utilizaron otros test; pero este sirvió como un primer

filtro para que, a partir de esta prueba, se aplicaran los test a los posibles candidatos con el trastorno.

2. Subescalas de cubos y vocabulario de la Escala de Inteligencia de Wechsler para Niños IV (Wechsler, 2004).

Para obtener el Cociente intelectual se analizaron los instrumentos de medición estandarizados que miden el nivel de inteligencia y que han sido utilizados en estudios empíricos sobre niños con trastorno de cálculo, resultando seleccionado el WISC-IV (Escala de Inteligencia de Wechsler para Niños IV).

Una vez seleccionada la prueba a utilizar, se revisaron las combinaciones de subescalas de la misma prueba que se han utilizado como formas breves de la escala total, que vienen en el libro “Guía de Recursos, Evaluación Infantil fundamentos cognitivos” (Sattler, 2008).

Finalmente se eligieron: la subescala de cubos (escala de razonamiento perceptivo) y la de vocabulario (de la escala de comprensión verbal), por ser esta combinación de subescalas entre las más confiables y con mayor correlación con el CI total.

3. Prueba de lectura en voz alta de la Evaluación Neuropsicológica Infantil - ENI (Ardila, Rosseli y Ostrosky, 2010). La prueba consiste en que el niño debe leer el párrafo de un texto, se mide el tiempo en que lo lee y también el número de errores, omisiones o substituciones. La prueba se incluyó porque la literatura reporta que existe comorbilidad entre el trastorno de cálculo y los problemas de lectura; que si bien el fin de este estudio no fue buscar comorbilidad entre los sujetos con el trastorno de cálculo con la lectura, sí se decidió aplicar esta prueba para poder caracterizar la muestra más ampliamente y saber cómo era su comportamiento en diferentes áreas.

4. Escala de Conners. La Escala de valoración para padres de Conners ha sido la más utilizada y estudiada, fue creada el año de 1969 por C. Keith Conners, y consta de 48 reactivos en su versión reducida; evalúa cinco factores: problemas de atención-aprendizaje, problemas de agresividad-conducta, problemas de impulsividad-hiperactividad, dificultades psicosomáticas y alteraciones por ansiedad.

La escala de valoración de Conners para el maestro, fue elaborada en el año de 1969 por C. Keith Connersen, su versión abreviada consta de 10 reactivos, se utilizo esta versión en el estudio, al igual que la dirigida a padres ha sido una de las más utilizadas. Los objetivos principales de esta escala son identificar los principales rasgos de problemas de conducta como hiperactividad.

La pertinencia de esta escala consiste en brindar información sobre la muestra, es decir, se determina si los sujetos con trastorno de cálculo también tienen conducta problemática, y en especial problemas de atención, impulsividad y agresividad; lo cual se puede verificar durante la aplicación de las otras pruebas y el experimento, dando un posible resultado positivo donde, además de tener problemas para realizar cálculos, comparaciones y aproximaciones, hay respuestas rápidas de forma impulsiva, o tienden a distraerse al presentar estímulos diversos.

5. Cuestionario para padres de la Evaluación Neuropsicológica Infantil - ENI (Ardila, Rosseli y Ostrosky, 2010). Este cuestionario lo responden los padres, y sirve para explorar si hubo algún problema durante el nacimiento del niño o durante el desarrollo, y si ha asistido a terapia, o descartar problemas como hipoxia o algún retraso mental.

Se aplicó esta prueba porque es importante que los niños no presenten alguna condición orgánica o emocional que disponga un bajo rendimiento o algún problema de este tipo y se pueda ver afectado o salga seleccionado sin que presente los criterios diagnósticos que se necesitan para ser catalogado con trastorno de cálculo.

6. Evaluación de la visión. En coordinación con el programa “ver bien para aprender mejor 2012” de la Secretaría de Educación Pública, se evaluaron la presencia de los siguientes problemas visuales: miopía, hipermetropía y astigmatismo, esto sirve para descartar algún problema en la vista y que pueda afectar al momento de realizar la fase experimental, porque para esta fase los sujetos deben de mirar una computadora y centrar la vista.

Materiales de evaluación para la fase experimental

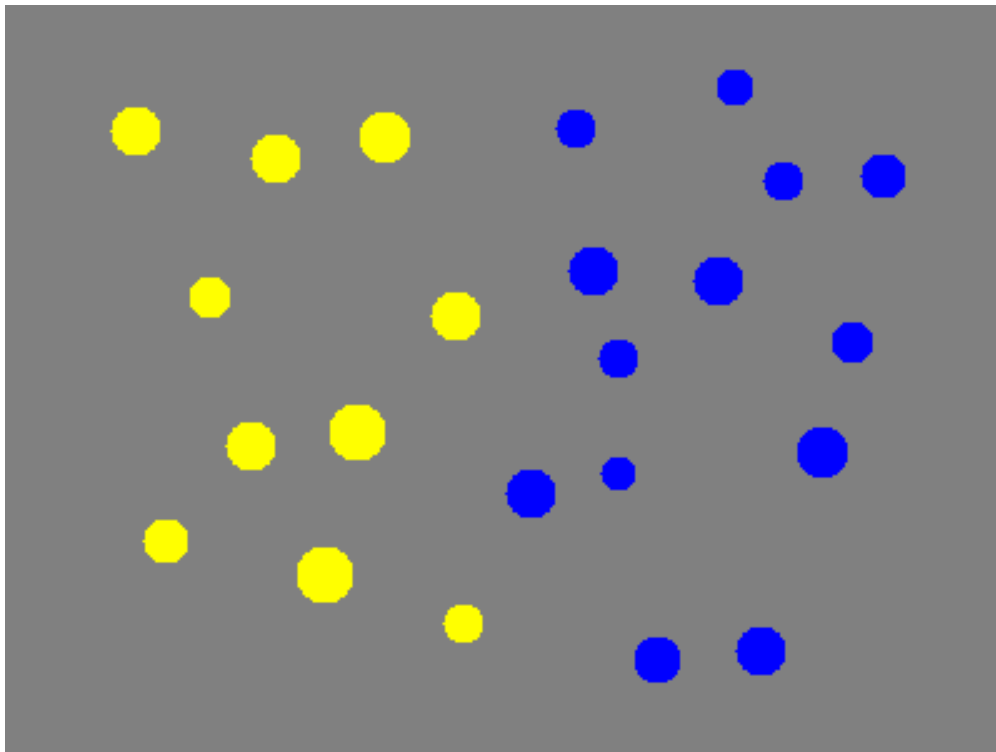
1. Evaluación del módulo Analógico se utilizó el programa *panamath* la versión 10.0. Dicho experimento se llevó a cabo en una computadora MacBook Pro con un monitor de 15 pulgadas y tiene como características una resolución de 1280 x 800. Cabe señalar que para que no existiera ningún problema para seleccionar la respuesta, se utilizó un teclado externo de la misma marca (MAC), las teclas con las que se elegían las respuestas son la F y J, se utilizaron estas teclas porque facilita más el movimiento de los dedos.

Las medidas utilizadas en este experimento fueron:

- Porcentaje de aciertos y tiempo de reacción en milisegundos.
- Los objetos que se encontraban dentro del radio de la circunferencia siempre se presentaban en un mínimo 5 objetos y un máximo de 21.
- El tiempo en que se presentaba en la pantalla los estímulos y se mantenían era de 1382 ms.

- El radio de los objetos que se encuentran dentro de la circunferencia era de un mínimo de 1.15 y máximo de 2.71 píxeles.
- La variación en los diámetros de los objetos dentro de la circunferencia tiene una variación mínima y máxima de 20 por ciento de píxeles.
- El tamaño de la ventana donde se presentaban los estímulos era de un 45% del total de la pantalla.
- Los objetos que se presentaban dentro de la circunferencia eran de color amarillo y azul; la justificación de dichos colores tiene que ver con la teoría de colores propuesta por Kandinsky el cual enuncia que dichos colores son sencillos de diferenciar uno del otro en comparación con otros colores.

A continuación se muestra una imagen como ejemplo de los reactivos que formaron parte del experimento:



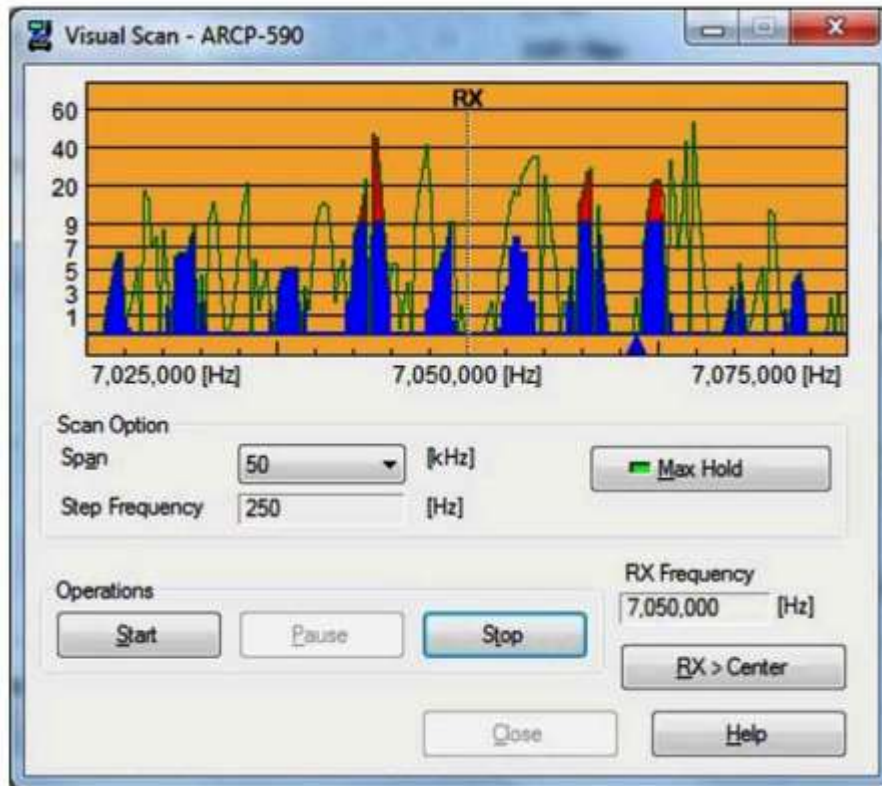
2. Evaluación del módulo auditivo se crearon los tonos y sonidos en el programa Reason. Para crear las frecuencias, y para que tuvieran una secuencia y

se pudiera medir el tiempo de reacción se programaron los sonidos ya hechos en el programa C++, Flash y Mathlab.

El uso de estos software ayudó a determinar el tiempo de reacción y que el individuo fuera capaz de discernir la duración de uno en comparación con otro sonido, y de esta manera él pudiera elegir cuál tono era más largo.

Para este experimento se utilizó una computadora Desktop HP Omni 120-1100, con un monitor de 21 pulgadas, un teclado externo de la misma marca y unos auriculares marca bose AE2 con una dimensión (Ancho x altura x profundidad) 152 x 38 x 191mm y un peso de 140 gramos. Se eligieron estos auriculares porque aíslan el sonido exterior completamente, y la fidelidad y la claridad del sonido son muy buenas; de esta manera no se confundiría el sonido con ningún otro ajeno que se pudiera encontrar en el ambiente. En esta prueba se midió tanto el porcentaje de aciertos como el tiempo de reacción en milisegundos.

La siguiente imagen representa cómo se visualizaba la pantalla durante esta fase del experimento.



3. Evaluación del módulo Visual se utilizó la comparación de cantidades numéricas. Para diseñar este software se programó en Flash versión 11.3. Este programa se utilizó para habilitar un cronómetro para medir el tiempo de reacción de los sujetos.

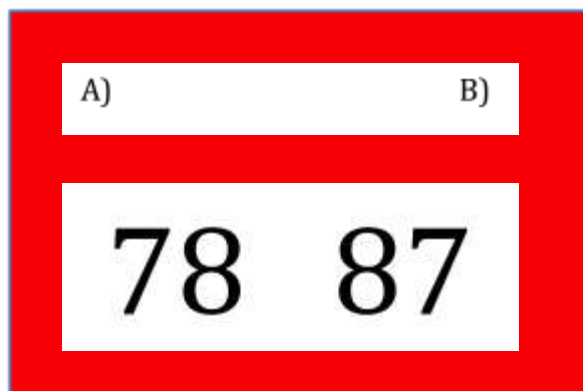
Para diseñar los números se utilizó el programa COREL DRAW para que tuvieran las mismas dimensiones y vértices; también se utilizó la vectorización para que estuvieran iguales los números y con las mismas dimensiones y no presentaran ningún cambio de manera visual. Para crear el software se programó en una computadora Desktop HP Omni 120-1100 con un monitor de 21 pulgadas, con un teclado externo de la misma marca; en esta computadora se llevó a cabo el experimento.

Las teclas para elegir cual número era mayor fueron las teclas F y J, al igual que en los otros experimentos. En este experimento se mostraban del lado izquierdo ciertas cantidades y del lado derecho otras cantidades con las mismas dimensiones.

En esta prueba se midió tanto el porcentaje de aciertos como el tiempo de reacción en milisegundos. Las dimensiones de los números que se utilizaron para este experimento fueron de 12.195 pixeles por cada dígito, se utilizó esta medida porque era visiblemente muy fácil y hacer posible discriminar por las dimensiones; se mostraban los estímulos en una media de tiempo de 2000 ms.

Los números que se mostraron eran de dos dígitos como mínimo y con un máximo de 3 dígitos, estos estímulos correspondían al 60% de la pantalla total. Los colores que se utilizaron fueron escogidos al azar siempre respetando los colores básicos y que fueran visibles, se evitó usar colores oscuros cuando los fondos que se presentaban eran similares, se trató de que existiera una contrastación de colores muy evidente para que no se confundieran ni se difuminaran dentro del área.

La siguiente imagen muestra uno de los reactivos para el área visual:



Procedimiento:

➤ Fase de selección de participantes

El proceso de trabajo de campo se realizó desde Octubre del 2011 a julio del 2012. Dado que el estudio requiere la identificación de participantes con trastorno de cálculo, se revisaron los criterios diagnósticos establecidos en el DSM-IV TR (Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales).

Evaluación de habilidades matemáticas

En primer lugar se encontró que para seleccionar sujetos con trastorno de cálculo debería aplicarse un test que midiera habilidades matemáticas para identificar posibles participantes tanto del grupo de estudio (con trastorno de cálculo), como del grupo control (sin el trastorno).

De acuerdo a la literatura se muestra que la prevalencia de este trastorno aproximadamente es del 8% de la población estudiantil, por lo tanto, buscando encontrar 30 niños con trastorno de cálculo se aplicó la prueba de habilidades matemáticas en 323 estudiantes de escuelas primarias públicas.

El test que ayudó a obtener los posibles diagnósticos fue el Wide Range Achievement Test - WRAT, debido a que mide habilidades para el cálculo. De acuerdo a los parámetros establecidos por el WRAT y tomando en cuenta las edades, los alumnos tenían que presentar en promedio un puntaje por debajo de 25 para poder decir que eran candidatos para el diagnóstico de trastorno de cálculo.

Conforme al proceso de aplicación, a los alumnos que obtuvieron un puntaje mayor a 5 puntos se les otorgaron los 15 puntos que se dan por la parte

oral. Solamente se presentó un caso en que una estudiante obtuvo un puntaje menor a 5 aciertos en la parte escrita y se tuvo que aplicar la parte oral; este fue el único caso en que se aplicó esta sección del test WRAT. Después de aplicar el test resultaron seleccionados 32 niños con posible trastorno de cálculo.

Para seleccionar al grupo control se buscó que los sujetos tuvieran la misma edad, que fueran del mismo turno y del mismo sexo. Estos sujetos, para ingresar al grupo control, deberían de presentar una puntuación de acuerdo a los estándares establecidos por el WRAT, es decir, deberían de presentar una puntuación en el TEST mayor a 26 puntos.

Evaluación del Cociente Intelectual

Una vez identificados los niños de los cuales se sospechaba la presencia del trastorno de cálculo, era necesario conocer el Cociente Intelectual de los mismos para descartar aquellos que no tuvieran una inteligencia normal.

Se utilizaron las subescalas de lenguaje y de cubos del test de inteligencia de Weschler. Se aplicó de manera individual para los dos grupos, no se presentó ninguna anomalía, es decir, que los sujetos deberían de presentar un CI de acuerdo a la norma que establece este Test, el cual dice que la media es de 100 y se acepta una desviación estándar por encima o por debajo de la media, ésta desviación es de 15 puntos. Este test ayudó a obtener el Cociente Intelectual, que era un segundo filtro para poder detectar niños que presentaran el trastorno de cálculo.

Evaluación de lectura y TDAH

La literatura sobre el trastorno de cálculo indica que comúnmente los trastornos de lectura y de déficit de atención e hiperactividad se encuentran

asociados. De tal forma que es importante evaluar la posible presencia de estos trastornos en los participantes, por el efecto que puedan tener sobre los resultados del estudio.

Con este fin se aplicaron la Prueba de lectura en voz alta de la Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI) de Ardila, Matute y Roselli (2004) y la Escala de Conners para maestros (Keith Conners, 1997). Se aplicó también el cuestionario para padres de la ENI para saber si hubo algún problema en el nacimiento o desarrollo del individuo, o para conocer si ocupaban ayuda pedagógica o psicológica.

De los 32 niños con trastorno de cálculo se reportó que ninguno tuvo problemas durante el nacimiento o problemas en el desarrollo; lo que sí se encontró es que 8 de ellos estuvieron acudiendo al Psicólogo porque presentaban trastorno de Hiperactividad y problemas con la autoridad, de igual manera también recibían terapia porque eran muy agresivos. En general esto nos da una descripción de cómo son los sujetos y qué problemas de comportamiento o actitud presentan, y la característica reflejada es que además de tener el trastorno de cálculo no tienen problemas de nacimiento o en la historia del desarrollo pero sí de conducta, prevaleciendo los problemas con la autoridad, hiperactividad y agresión.

Después de aplicar estas pruebas en el grupo de estudio y con el grupo control, y parearlos en edad, sexo grado escolar, turno y escuela, se procedió a hacer una evaluación visual, porque si presentaban problemas de la vista era muy probable que esa fuera una causa por la que fallaron en alguno de los test. Al no contar con los materiales apropiados para aplicar esta prueba, coincidió que en el mes de mayo y parte de junio llevaron a cabo el programa “ver bien para aprender mejor”.

Al hablar con las autoridades y con los encargados del programa acordaron pasar una lista con las evaluaciones visuales del grupo control y el de estudio, y

de esta manera se pudo descartar 4 alumnos del grupo control que usaban lentes o tenían problemas visuales; en consecuencia se tuvieron que aplicar los mismos test buscando nuevos candidatos para que el grupo control quedara completo de nuevo.

➤ Fase experimental

La fase experimental se hizo en tres momentos. El primero que se llevó a cabo fue el experimento para evaluar el módulo analógico, éste se midió con el programa *panamath*; el experimento se llevó a cabo en la biblioteca de la escuela, misma que se encontraba sola y el niño no tenía distractores de ruido o bullicio.

Esta prueba se llevó a cabo individualmente y se aplicó dos veces para habituación a la prueba; en un primer momento cada ejercicio de habituación fue de 30 segundos. Después se procedió a aplicar el test que registraría los resultados, este tuvo una duración de un minuto y los niños no tuvieron acceso a los resultados. Se llevó a cabo el mismo procedimiento en los dos grupos y se aplicó individual en todos los casos.

En este experimento las cifras obtenidas y que son las que se necesitaban era el tiempo de reacción y el número de aciertos, la fracción de Weber nos la daba automáticamente el programa pero no fue utilizada como medida en este estudio.

El segundo experimento que se llevó a cabo fue el auditivo. Este experimento constaba en que comparan dos frecuencias de sonido con duraciones distintas, el niño debería decidir cual era más larga; se aplicaron 2 ejercicios de habituación y después se procedió a aplicar el experimento este constó de 10 reactivos, los niños no tuvieron acceso a los resultados.

Este test se aplicó de manera individual en los dos grupos, se llevó a cabo en la biblioteca de la escuela para que el niño no tuviera ningún distractor. En este experimento las cifras obtenidas y que son las que se necesitaban era el tiempo de reacción y el número de aciertos.

El tercer experimento que se llevó a cabo fue el visual, el cual consistía en presentar una serie de láminas que se programaron en Flash, en las que se mostraban cantidades y el niño debería elegir cual cantidad era más grande. Se hicieron de la misma forma dos ejercicios de habituación, primero con una duración de 30 segundos cada uno, después se procedió a aplicar el experimento que tenía una duración de un minuto.

Este experimento se llevó a cabo en la biblioteca donde no hubiera ningún distractor, se aplicó de manera individual para los dos grupos, no se les mostraron resultados a los niños. En este experimento las cifras obtenidas y que son las que se necesitaban era el tiempo de reacción y el número de aciertos.

Análisis estadístico

Para la comparación de los grupos el análisis estadístico utilizado fue la prueba t de Student, mientras que para comparar el rendimiento de los grupos al interior de cada prueba se realizó un análisis de varianza de un factor o ANOVA de dos factores con medidas repetidas en un factor. El nivel de alfa utilizado fue 0.01.

Resultados

➤ Caracterización de la muestra

Como se explicó anteriormente, para el proceso de selección de la muestra se aplicaron una serie de pruebas con el objetivo de encontrar a los sujetos que formarían parte del grupo de estudio y del grupo control.

A continuación se presenta una tabla con los resultados descriptivos, así como la estadística inferencial obtenida en la prueba de habilidad matemática utilizada en el estudio.

WRAT

| | Media | Desviación típica | T | p |
|------------------|-------|----------------------|-------|------|
| 1 Estudio | 25,22 | 2,090 | 9,791 | ,001 |
| 2 Control | 31,06 | 2,651 | | |

Los resultados muestran que en habilidades matemáticas se obtuvo una diferencia significativa entre los dos grupos; el grupo de estudio se desempeñó por debajo de lo esperado para su edad y grado escolar. Lo cual es congruente con los lineamientos que están estandarizados en esta prueba para empezar a detectar a sujetos con trastorno de cálculo.

Enseguida se presenta una tabla con los resultados obtenidos en la evaluación del nivel de inteligencia de los participantes, así como la comparación de ambos grupos en dicha escala.

COCIENTE INTELECTUAL

| | Media | Desviación típica | T | p |
|------------------|--------|----------------------|--------|------|
| 1 Estudio | 100,41 | 2,229 | -2,310 | ,025 |
| 2 Control | 106,50 | 1,411 | | |

En estos resultados se observa que en ambos grupos el nivel de inteligencia se encuentra dentro del promedio, sin embargo la comparación de los grupos muestra una tendencia a favor del grupo control, la cual no alcanza a ser estadísticamente significativa.

Seguiremos con la presentación de los resultados obtenidos en la tarea de lectura en voz alta. En esta tarea se obtienen dos tipos de medida de la lectura, una de ellas es el número de modificaciones realizadas durante la lectura, y otra de las medidas es el tiempo de lectura. Iniciamos con la presentación de los resultados obtenidos en cuanto al número de modificaciones en la lectura en voz alta.

Modificaciones en la lectura en voz alta

| | Media | Desviación típica | T | P |
|------------------|-------|----------------------|--------|------|
| 1 Estudio | 6,09 | ,588 | -8,392 | ,001 |
| 2 Control | 8,06 | 1,190 | | |

Las modificaciones realizadas durante la lectura en voz alta incluyen cualquier palabra que el sujeto omite, cambia o sustituye. La media escalar de la prueba utilizada corresponde a un valor de 10 puntos, mientras que la desviación estándar de la prueba es de tres puntos. Los resultados obtenidos en nuestros

participantes por una parte indican que el grupo de estudio tiene una puntuación promedio que se ubica por debajo de una desviación estándar del promedio esperado; mientras que la media del grupo control muestra una puntuación que se encuentra dentro del promedio.

Por otra parte, se observa una diferencia estadística entre los grupos, lo cual implica que se presentaron un mayor número de omisiones, sustituciones o adiciones de palabras del grupo de estudio en comparación con el grupo control.

Número de palabras leídas por minuto

| | Media | Desviación típica | T | P |
|-----------|-------|----------------------|--------|------|
| 1 Estudio | 6,13 | ,554 | -8,999 | ,001 |
| 2 Control | 8,13 | 1,129 | | |

En cuanto a la velocidad de lectura se mostró la misma tendencia; el grupo de estudio presenta más de una desviación estándar por debajo de la media, mientras que el grupo control se encuentra dentro del promedio esperado. Por otra parte, los grupos muestran ser estadísticamente distintos en la realización de la tarea lo cual en esta tarea se ve traducido como una velocidad menor al leer del grupo de estudio en comparación con el grupo control.

La Escala de Conners recaba información sobre las conductas observadas en los niños y hace posible una caracterización sobre la presencia del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad. A continuación se presentan los resultados obtenidos separando los grupos por sexo, debido a que la escala establece criterios de normalidad según el sexo de los participantes, en varones la media de la escala es de una puntuación 17, con una desviación estándar de 3,11, mientras que en niñas la media es de una puntuación de 12, con una desviación estándar de 2,31.

Cuestionario de conducta de CONNERS para PROFESORES

Niños

| | Media | Desviación típica | T | P |
|-----------|-------|----------------------|-------|------|
| 1 Estudio | 16,40 | 3,102 | 4,290 | ,001 |
| 2 Control | 12,95 | 1,820 | | |

Niñas

| | Media | Desviación típica | T | P |
|-----------|-------|----------------------|-------|------|
| 1 Estudio | 14,25 | 3,166 | 2,265 | ,034 |
| 2 Control | 12,00 | 1,348 | | |

Tanto en los niños como en las niñas la puntuación media del grupo de estudio se encuentra dentro de los límites establecidos. Por otra parte en la comparación de los grupos de Estudio y Control se obtuvo una diferencia significativa entre los grupos, siendo el grupo de estudio el que posee más características de este trastorno, lo cual hace a sus participantes posibles candidatos para este trastorno.

Como se puede notar, el grupo control y el grupo de estudio, a pesar de tener diferencias entre ellos, ambos se sitúan dentro de los estándares para esta escala. En el caso de las niñas, se encontró solo una tendencia entre el grupo control y el grupo de estudio, siendo este último es que presenta características más cercanas a lo que es este trastorno; si bien se encuentra en los límites para ser candidatas las niñas del grupo de estudio, esta prueba no es determinante para poder

diagnosticar este trastorno, solo nos ayudó a caracterizar la muestra y ver su comportamiento en diferentes ámbitos.

Con la fase de selección y caracterización de la muestra se cumplieron los criterios para realizar el estudio. Se observó que:

- Los participantes en el grupo de estudio tienen diferencias estadísticas y se sitúan en desempeños bajos en habilidades matemáticas.
- Su cociente intelectual se encuentra en los puntajes esperados para su edad.
- En lectura se situaron por debajo del desempeño de los sujetos del grupo control, lo cual sugiere una dificultad lectora asociada al trastorno de cálculo.
- En cuanto al trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) también se encontraron diferencias, situándose el grupo de estudio con mayor incidencia de hiperactividad.

Una vez diferenciados ambos grupos y al determinar sus características, siguió la fase experimental de la cual se presentan a continuación los resultados obtenidos.

➤ Resultados de la fase experimental

Una vez asignados los sujetos al grupo correspondiente, se procedió a la aplicación de la fase experimental, en la cual se midieron los porcentajes de aciertos y tiempos de reacción en los tres módulos. Iniciaremos presentando los resultados obtenidos en cuanto a aciertos.

Porcentaje de aciertos en el módulo analógico

| | Media | Desviación típica | T | p |
|-----------|--------|----------------------|-------|------|
| 1 Estudio | 84,48% | 13,016 | 4,361 | ,001 |
| 2 Control | 95,17% | 4,779 | | |

Se observa que los aciertos obtenidos por los grupos en el experimento del módulo analógico fueron mayores al 80% en ambos grupos, sin embargo la comparación de los mismos muestra una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos. Esto demuestra que el grupo de estudio, a pesar de tener puntuaciones relativamente altas la variabilidad de los datos sugiere problemas para comparar cantidades y hacer estimaciones en el formato analógico lo cual está vinculado con el sentido numérico y la línea numérica.

Porcentaje de aciertos en el módulo verbal

| | Media | Desviación típica | T | p |
|------------------|--------|----------------------|-------|------|
| 1 Estudio | 41,88% | 17,309 | 6,748 | ,001 |
| 2 Control | 69,38% | 15,227 | | |

El porcentaje de aciertos en el módulo verbal mostró puntuaciones medias por debajo del 50% en el grupo de estudio, y por encima de 50% en el grupo control. Al comparar los grupos se encuentra una diferencia significativa entre los grupos, lo cual puede explicarse por los errores sintácticos que se atribuyen a los niños con trastorno de cálculo para poder representar una secuencia ordenada de elementos, en esta caso tonos, y de esta manera poder hacer una comparación entre dos estímulos y poder decidir cual es el mayor.

Porcentaje de aciertos en el módulo visual

| | Media | Desviación típica | T | p |
|------------------|--------|----------------------|-------|------|
| 1 Estudio | 65,00% | 19,344 | 6,682 | ,001 |
| 2 Control | 90,63% | 9,817 | | |

En el módulo visual, los grupos muestran puntuaciones medias menores a 80% en el caso del grupo de estudio, y mayores a 80% en cuanto al grupo control. Al comparar los grupos se obtuvo una diferencia significativa entre los dos grupos, lo cual demuestra problemas en las habilidades de los sujetos con trastorno de

cálculo para representar los números arábigos en una secuencia ordenada de orden mental que les permite decidir cuál es mayor o menor.

A continuación presentaremos los resultados obtenidos por los grupos en cuanto a los tiempos de reacción obtenidos en cada experimento, analógico, auditivo y verbal.

Tiempos de reacción en el módulo analógico

| | Media | Desviación típica | T | p |
|------------------|--------------|----------------------|------|------|
| 1 Estudio | 1001,56 (ms) | 479,009 | ,855 | ,396 |
| 2 Control | 1106,88 (ms) | 505,750 | | |

En esta tarea se observa una tendencia del grupo control para responder con mayor lentitud en las tareas de representación analógica, sin embargo la diferencia no es tan alta como para mostrar resultados significativos en la comparación de los grupos.

Tiempos de reacción en el módulo verbal

| | Media | Desviación típica | T | P |
|------------------|--------------|----------------------|---------|------|
| 1 Estudio | 2909,38 (ms) | 249,334 | -10,477 | ,001 |
| 2 Control | 2350,63 (ms) | 169,856 | | |

En el experimento del módulo verbal, los participantes del grupo de estudio muestran tiempos de reacción más altos, además de una diferencia significativa en la comparación estadística de los grupos, esto sugiere que la dificultad de los niños con trastorno de cálculo en el manejo de la línea numérica puede estar influyendo en sus tiempos de reacción en tareas auditivas donde se utilizan reactivos no simbólicos, es decir, tonos.

Tiempos de reacción en el módulo visual

| | Media | Desviación típica | T | P |
|------------------|--------------|----------------------|--------|------|
| 1 Estudio | 1093,75 (ms) | 225,671 | | |
| 2 Control | 810,03 (ms) | 157,748 | -5,829 | ,001 |

Al medir los tiempos de reacción en la tarea del módulo visual nos encontramos con que el mismo patrón anterior, el grupo de estudio tiene un mayor tiempo de reacción que el grupo control, la comparación de los grupos también muestra una diferencia significativa.

Además de la comparación de los grupos, deseamos analizar el desempeño al interior de los grupos, de tal forma que identificáramos si los participantes de cada grupo obtenían puntajes similares en cada tarea, y así responder a una de nuestras preguntas ¿en cuál de los módulos los niños con trastorno de cálculo se ven más afectados?.

A continuación presentamos los resultados obtenidos del análisis de varianza utilizado.

ANOVA de dos factores con medidas repetidas en un factor

El ANOVA elegido nos ayuda a analizar la información cuando se utilizan dos factores, uno de ellos como variable independiente, y otro de ellos como variable dependiente, el cual contiene medidas repetidas del mismo factor.

Se realizaron dos análisis de varianza, en el primero la variable inter-sujetos (variable independiente) fue Grupos, mientras que la variable intra-sujetos (variable dependiente) fue *Aciertos*, en donde incluimos el porcentaje de aciertos obtenido en cada experimento.

Dado que las diferencias entre los grupos fueron presentadas antes con el análisis t de Student, presentaremos solamente los resultados obtenidos en la comparación por pares del análisis intra-sujetos.

ACIERTOS COMPARACIÓN POR PARES DE EXPERIMENTOS.

| Grupo de estudio | | | | | |
|------------------|----|----------|----------------------|--------------|-------|
| Experimentos | | | Diferencia de medias | Error típico | p |
| Analógico | vs | Visual | 19.49 | 3.20 | 0.001 |
| | vs | Auditivo | 42.61 | 3.33 | 0.001 |
| Visual | vs | Auditivo | 23.13 | 3.89 | 0.001 |

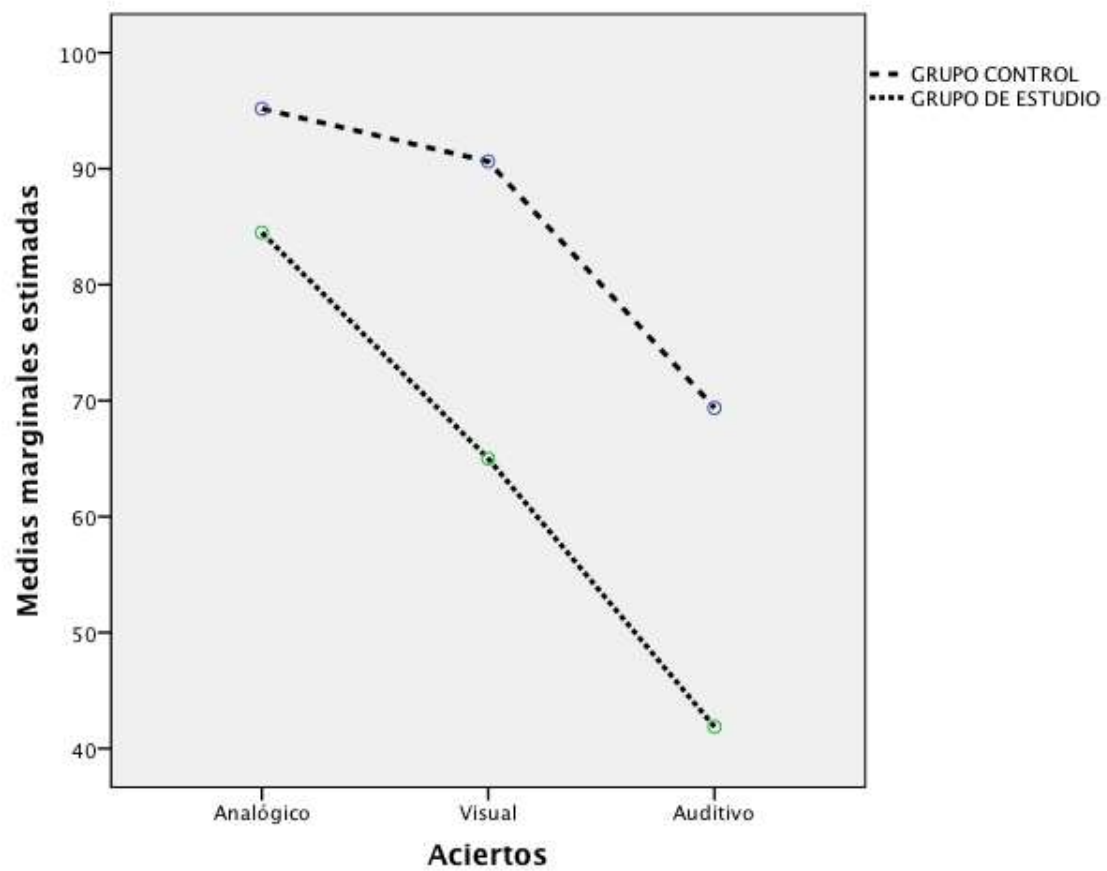
Como se observa en la tabla, en el grupo de estudio la mayor diferencia se observa al comparar los aciertos de los experimentos analógico y auditivo. Por otra parte las diferencias son significativas en la comparación de aciertos en todos los experimentos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el grupo control

| Grupo control | | | | | |
|---------------|----|----------|----------------------|--------------|-------|
| Experimentos | | | Diferencia de medias | Error típico | p |
| Analógico | vs | Visual | 4.54 | 3.20 | 0.481 |
| | vs | Auditivo | 25.79 | 3.33 | 0.001 |
| Visual | vs | Auditivo | 21.25 | 3.89 | 0.001 |

En el caso del grupo control, la diferencia de medias de aciertos entre experimentos fue similar al comparar los experimentos analógico y auditivo, así como auditivo con visual, sin embargo la diferencia entre las medias de aciertos de los experimentos analógico y visual es muy poca, de tal forma que sólo en esta comparación no se observa una diferencia estadísticamente significativa.

En la siguiente figura se observa de forma gráfica el desempeño de los grupos en los aciertos obtenidos en cada tarea.



Continuaremos con la presentación de los resultados obtenidos en cuanto a los tiempos de reacción de cada experimento.

TIEMPO DE REACCIÓN COMPARACIÓN POR PARES DE EXPERIMENTOS.

| Grupo de estudio | | | | | |
|------------------|----|----------|----------------------|--------------|-------|
| Experimentos | | | Diferencia de medias | Error típico | p |
| Analógico | vs | Visual | -92.18 | 97.41 | 1.000 |
| | vs | Auditivo | -1907.81 | 89.21 | 0.001 |
| Visual | vs | Auditivo | -1815.62 | 53.07 | 0.001 |

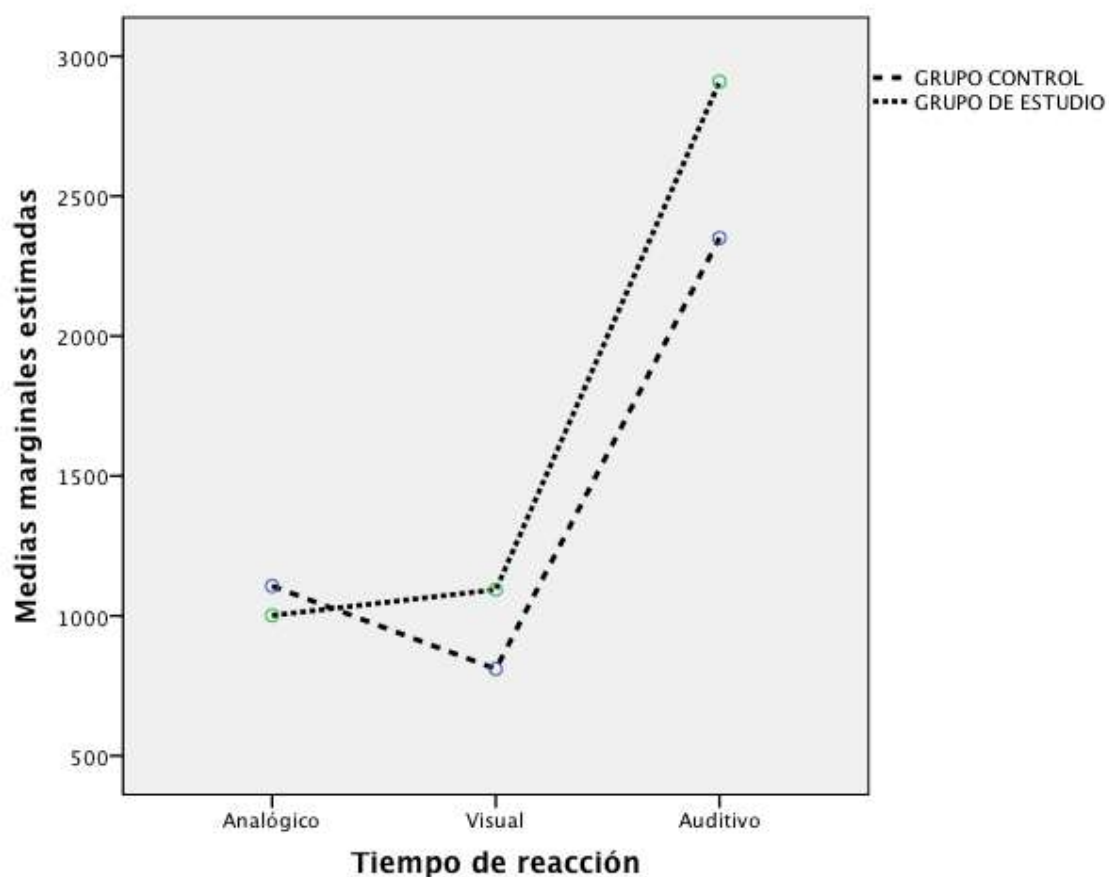
Como se observa en la tabla, en el grupo de estudio la diferencia entre el tiempo de reacción de los experimentos analógico y visual es muy pequeña, por lo cual no se alcanza una diferencia estadísticamente significativa entre estas dos tareas. Sin embargo, en la comparación del tiempo de reacción del experimento auditivo y los otros dos experimentos es mucho mayor y estadísticamente significativa.

TIEMPO DE REACCIÓN COMPARACIÓN POR PARES DE EXPERIMENTOS.

| Grupo control | | | | | |
|---------------|----|----------|----------------------|--------------|-------|
| Experimentos | | | Diferencia de medias | Error típico | p |
| Analógico | vs | Visual | 296.84 | 97.41 | 0.010 |
| | vs | Auditivo | -1243.75 | 89.21 | 0.001 |
| Visual | vs | Auditivo | -1540.59 | 53.07 | 0.001 |

Al comparar el tiempo de reacción del grupo control en los tres experimentos observamos diferencias de medias similares y elevadas entre el experimento auditivo y los otros dos experimentos, mientras que los experimentos analógico y visual tienen una diferencia de medias mucho menor. De cualquier manera, las diferencias entre los tiempos de reacción de todos los experimentos son estadísticamente significativas.

En la siguiente figura se presenta en forma gráfica el desempeño de ambos grupos en los tres experimentos.



Los resultados se han presentado en tres partes: primero los que se obtuvieron para caracterizar la muestra, que a su vez ayudaron a seleccionar a los participantes del grupo de estudio y el grupo control y consistieron en una serie de tests; después se incluyeron los resultados de la fase experimental, que fueron aquellos obtenidos a partir de la aplicación de los experimentos del software que se diseñó especialmente y permitió registrar con gran exactitud los aciertos y los tiempos de reacción.

Por último se expusieron los resultados del análisis ANOVA, donde se comparan los resultados entre los módulos, por un lado se compara el grupo de estudio en sus aciertos obtenidos para los tres módulos, y aparte los tiempos de reacción para comparar de la misma forma a los tres módulos. Lo mismo se realizó para el grupo control.

En la caracterización de la muestra se encontró que:

Los sujetos con trastorno de cálculo difieren significativamente de los sujetos normales y obtienen resultados inferiores en tareas que implican habilidades matemáticas en el test WRAT.

El CI de los sujetos con trastorno de cálculo se encuentra dentro de los estándares esperados para su edad cronológica y grado escolar, lo cual no difiere significativamente del grupo control.

En cuanto a las habilidades de lectura se encontró que los sujetos con trastorno de cálculo se encuentra por debajo de una desviación estándar y el grupo control se ubica dentro del promedio. Lo cual indica que el grupo de estudio tiene mayores errores al leer y omiten, cambian o sustituyen más palabras, y además leen menos palabras por minuto.

En la Escala de Conner's se encontró una diferencia significativa entre los grupos, encontrando en los sujetos del grupo de estudio mayores tendencias a presentar el TDAH.

Los resultados de la fase de experimentación que se obtuvieron pueden resumirse en que:

El porcentaje de aciertos en el módulo analógico presenta diferencia significativa entre los grupos, resultando que los sujetos con trastorno de cálculo tienen más problemas para comparar y hacer estimaciones de tipo analógico, lo cual se relaciona con el sentido numérico y la línea numérica.

En los aciertos para las tareas del módulo verbal se obtuvo que ambos grupos se sitúan con una diferencia significativa entre ellos, de igual forma que en

el módulo visual. Además, en las tareas verbales los dos grupos obtuvieron sus peores puntajes.

En cuanto a los tiempos de reacción, en el módulo analógico los sujetos del grupo control fueron más lentos para contestar, de forma contraria que en el verbal y el visual. De igual forma, sólo en estos dos últimos se presentaron diferencias significativas entre los dos grupos.

En el análisis ANOVA se compararon los resultados obtenidos dentro de cada grupo obteniendo lo siguiente:

Al comparar los aciertos entre los tres módulos del grupo de estudio se encuentran diferencias significativas en todos, y esto es más pronunciado en la comparación entre el módulo analógico y el verbal. De forma similar, en el grupo control también esta comparación fue la que obtuvo mayores diferencias, sin embargo la única comparación que no resultó significativa es la comparación entre el módulo analógico y el visual.

Sobre la comparación de los tiempos de reacción en el grupo de estudio se encontró que sólo no es significativa la diferencia entre el módulo analógico y el visual. A diferencia de la comparación en el grupo control, donde las tres comparaciones fueron significativas, pero la que obtuvo rangos más cercanos fue entre el módulo analógico y el visual.

10. Discusión

El objetivo del estudio fue evaluar en tareas de comparación a sujetos con trastorno de cálculo y sin trastorno de cálculo, tomando como base el modelo propuesto por Dehaene para determinar en cuáles módulos obtienen peores resultados y mayores tiempos de reacción. Se diseñó la tarea verbal adecuándola a estímulos independientes del lenguaje, específicamente se adecuaron frecuencias auditivas con diferentes tiempos de duración y fueron comparadas para determinar cuál era mayor.

Para la selección de los sujetos que participaron en el estudio se hicieron una serie de pruebas que tenían el fin de diagnosticar sujetos con trastorno de cálculo mediante el test WRAT que mide habilidades matemáticas, después se buscaron sujetos para el grupo control pareados por edad, sexo y grado escolar.

Con el objetivo de describir la muestra, se aplicaron las pruebas ENI y Escala de Conners, lo cual sirvió para hacer un perfil más amplio de los sujetos con trastorno de cálculo; se midió su rendimiento en tareas de lectura y se indagaron sus rasgos de comportamiento en el salón de clases. También se aplicó un test para calcular el CI.

En los tests aplicados para la selección y caracterización de la muestra se dio un seguimiento a varios aspectos a tomar en cuenta para los criterios de inclusión contenidos en el DSM-IV-TR, los cuales sugieren que los sujetos con trastorno de cálculo deben tener un CI normal, es decir, que su inteligencia no debe ser una limitante para realizar cálculos matemáticos. Un criterio señala que el rendimiento en tareas de cálculo debe ser inferior que los sujetos de su misma edad y el mismo grado de escolaridad; por ellos en el presente estudio se obtuvo tal diferencia con el test WRAT.

La prueba ENI Lectura en voz alta se aplicó para saber si se encontraban errores de lectura asociados, aunque esto no es determinante para el diagnóstico del trastorno debido a que el procesamiento numérico no siempre se refiere a estímulos visuales; además, para determinar con certeza si existe trastorno de lectura debían aplicarse otras pruebas para confirmar también este diagnóstico.

En la fase experimental, para evaluar los módulos visual y analógico se tomaron como base los reactivos desarrollados por Dehaene y Piazza (1994; 2010). Para el módulo verbal se optó por diseñar reactivos que fueran independientes del lenguaje. Para el presente estudio se adaptaron a un software calibrado para medir con mayor exactitud el tiempo de exposición de los estímulos, además de registrar inmediatamente y de forma más precisa el porcentaje de aciertos y los tiempos de respuesta de los sujetos. Una vez aplicados los experimentos se realizó un análisis estadístico para describir los grupos a partir de las pruebas realizadas.

Los resultados obtenidos en la evaluación de los módulos demuestran que los niños con trastorno de cálculo muestran diferencias estadísticamente significativas en comparación con sujetos sin el trastorno para los módulos verbal y visual. Es decir, en tareas donde se compara el tiempo de reacción y número de aciertos, el grupo diagnosticado con trastorno de cálculo presentó mayores dificultades para resolver las tareas, lo cual se reflejó en la obtención de más errores al contestar que los sujetos normales, siendo amplias estas diferencias entre ambos grupos. En cuanto a los tiempos de reacción, los sujetos con el trastorno, generalmente fueron más lentos a excepción de las tareas del módulo analógico.

Estas dificultades que manifestaron los sujetos con trastorno de cálculo se deben, en gran medida, a que tienen menor acceso a la representación de dígito y la línea numérica. Para tener una explicación más completa de cómo acceden y cómo trabajan con ésta se evaluó esta capacidad en tareas de comparación a través de los tres módulos de representación numérica. Se encontró que además

de presentar dificultades en el acceso a la línea numérica, los sujetos con este trastorno también tienen problemas para trabajar con ésta en cada uno de los módulos de representación.

En este estudio se generaron datos estadísticos sobre los tres módulos, ya sea para comprender las diferencias entre los sujetos con y sin trastorno, como para discernir en los niños con trastorno de cálculo si entre los mismos módulos están presentes los errores. Esto último significa que además de explicar que los niños con trastorno de cálculo son estadísticamente diferentes a los sujetos sin el mismo diagnóstico, se determina en cuáles módulos presentan mayores afectaciones, traducidas a mayor número de errores y tiempos de reacción prolongados.

Los datos más reveladores y que han impreso su particularidad a este estudio son los que resultaron del análisis ANOVA de dos factores, en el cual se compararon los porcentajes de aciertos obtenidos en los tres módulos por los sujetos con trastorno de cálculo, y por el grupo control; después se compararon ambos grupos. Lo mismo se generó en relación a los tiempos de reacción. Con estos datos es posible presentar los siguientes resultados, además se halla una relación directa con la teoría de Deahene (1992), incluso con lo que reporta Piazza (2010).

Para el módulo analógico los sujetos con trastorno de cálculo superaron la velocidad del grupo control para responder, esto pudo deberse a características encontradas en su conducta, como los rasgos de impulsividad, lo que pudo favorecer que los sujetos con trastorno de cálculo respondieran de forma más acelerada; porque aún al ser más veloces obtuvieron un mayor número de errores que los sujetos normales. Sin embargo, entre los sujetos que tienen el trastorno, en este módulo fue donde obtuvieron sus mejores resultados en comparación con las tareas de tipo visual y verbal.

Una posible explicación para determinar por qué en el módulo analógico obtuvieron mejores resultados, es decir, para determinar por qué es el módulo en el que, a pesar de que existe una afectación, ésta es menor en comparación con la encontrada en los otros dos módulos; como se mencionó, se debe a que este módulo es el primero en desarrollarse.

Los sujetos con trastorno de cálculo fueron inferiores de manera significativa en los módulos visual y verbal, por ello guardaron más diferencias con el módulo analógico. Para explicar la causa de estas diferencias en el módulo visual se encuentra que este resultado concuerda con lo reportado por Piazza (2010), donde los sujetos con trastorno de cálculo fueron más lentos en comparación con los sujetos sin el trastorno para responder en las tareas relacionadas al módulo visual; la explicación que da esta autora dice que para realizar este tipo de tareas se recurre a la línea numérica.

La línea numérica, según Dehaene (1997), en el caso de los sujetos con trastorno de cálculo tienen dificultades para organizarla, es decir, su línea numérica no lleva una secuencia lineal de izquierda a derecha conteniendo los números en forma ascendente, sino que sería más bien como una línea con tendencias a la deformación (no organizada en el espacio mentalmente).

Las dificultades que tuvieron los sujetos con el trastorno al momento de responder en el módulo visual se pueden explicar a partir de la categorización de los errores más comunes en sujetos con trastorno de cálculo, que se presentan tres categorías que denotan en el módulo visual, éstos son el espacial, procedual y visual; los cuales se refieren a dificultades para leer signos aritméticos, omitir o adicionar algún paso o para aplicar alguna regla para realizar el cálculo, así como para acomodar en columnas los números (Rourke, 1985).

En el módulo verbal los sujetos con trastorno de cálculo también fueron más lentos al responder en comparación con el grupo control; incluso fue el módulo en

el que obtuvieron peores resultados en comparación con el analógico y el visual entre sujetos con el trastorno. Esto puede deberse a que existen errores al momento de comparar frecuencias auditivas, lo cual les resulta más complicado para transcodificar en otro módulo, en comparación con otro tipo de estímulos en los cuales pueden apoyarse con imágenes, números escritos o palabras que les ayuden a representarlas mentalmente con mayor precisión (Otálora, 2002).

En cuanto a los tiempos de reacción, se encontró que los sujetos con trastorno de cálculo fueron más veloces en las tareas analógicas, siendo este resultado muy cercano al que obtuvieron en las tareas visuales, y por último, y con una diferencia más marcada resultaron más lentos en las tareas verbales, que fue donde realizaron las tareas de comparación de frecuencias auditivas. Las mismas diferencias entre los tiempos de reacción entre los módulos fue la misma en los sujetos del grupo control, es decir, que sus tiempos de reacción se comportaron de forma similar.

La explicación sobre las diferencias entre el porcentaje de aciertos y tiempos de reacción entre los módulos es porque en el estudio realizado se trabajaron diferentes tipos de representación y en las tareas se requería la transcodificación, es decir, pasar la información de un tipo de representación a otra, así, un estímulo verbal se debía pasar al módulo analógico, y un estímulo visual con números arábigos también debía codificarse en el analógico, en ambos casos con el objetivo de realizar comparaciones.

De esta manera, las diferencias obtenidas se sustentan en la demostración de que existen varias rutas de procesamiento numérico, y dependen de los módulos utilizados para responder dando diferencias tanto en los porcentajes de aciertos como en los tiempos de reacción. También se obtuvo una tasa del trastorno de cálculo del 6% en la población de niños entre 10 y 12 años, lo cual coincide con la cifra reportada por Dehaene (1994).

Las diferencias entre los sujetos con trastorno de cálculo y los sujetos normales se deben a que, al tratarse de estimaciones ó aproximaciones, éstas tareas requieren que el sujeto posea una serie de habilidades bien desarrolladas, entre ellas la capacidad para representarse mentalmente los numerales que es lo mismo que el sentido numérico; también depende de las habilidades para organizar de forma viso-espacial estos numerales, lo cual es un error común en estos sujetos; por último, se pueden encontrar dificultades con la comparación dentro de la línea numérica (Dehaene, 1992; 1997, Piazza, 2010).

Por su parte, el sentido numérico va más allá de la subitización, es decir, se madura la capacidad para estimar el número de objetos contenidos en un grupo, y se logra desarrollar un sistema más amplio para organizar, comparar y calcular cantidades mayores. En este punto se logra ese sentido numérico y la información se codifica o se traslada a una línea numérica, misma que al hacerse una comparación se debe de ubicar en dos puntos, un punto inicial en el cual se encuentra una cantidad o una representación mayor que se ubicaría más al lado derecho y una cantidad o representación menor que se ubicaría comúnmente hacia el lado izquierdo.

De acuerdo a lo anterior, es necesario que el sujeto demuestre sus habilidades para codificar y procesar la información numérica, es decir, más que contar objetos debe movilizar su capacidad para representar mentalmente las cantidades, estimar el número de objetos de un grupo y comparar grupos o conjuntos entre sí, es por eso que el uso de tareas que pongan a prueba estas habilidades están muy relacionadas para evaluar a sujetos con trastorno de cálculo, debido a que, si contienen más errores en su ejecución, sería también un indicio de que tienen dificultades para representar dígitos, por lo que debe ponerse a prueba en sus distintas modalidades, es decir, bajo los tres tipos de codificación que propone Dehaene en su modelo.

Como ya se dijo, en la comparación entre los sujetos con trastorno de cálculo y los que no lo presentan se encontró que a pesar de ser diferentes estadísticamente, hubo algunos comportamientos similares; por ejemplo, tuvieron más dificultades en las tareas del módulo verbal, que en el visual y en el analógico, siendo este último donde se mostraron menos diferencias entre ambos grupos en el número de aciertos y tiempos de reacción.

Esto explicaría un patrón cronológico del desarrollo de los módulos aplicable a todos los sujetos, con y sin trastorno. Primero se desarrolla el módulo analógico a través de experiencias con tareas no simbólicas, enseguida se ubicaría la integración del módulo verbal; y finalmente el módulo visual mediante la exposición a tareas simbólicas.

Es importante recordar que el módulo analógico se relaciona con la representación numérica, y tiene sus orígenes en los primeros momentos de la vida ya que está determinado por una capacidad innata para el procesamiento matemático. La función de la estimulación del ambiente y principalmente de la experiencia para movilizar estos procesos conllevan al desarrollo de este módulo, que no se determina por los números arábigos ni por el lenguaje, es decir, que este módulo nace con nosotros y se caracteriza por ser una intuición numérica basada en comparaciones y aproximaciones, debido a que no tenemos las palabras o los números en ese momento del desarrollo para formar un precedente que nos ayude a organizar los objetos que contamos.

Una explicación para el rendimiento superior obtenido en las tareas analógicas sobre las demás, es porque el módulo analógico es el primero en desarrollarse, el sujeto tiene más tiempo para trabajar con él y ajustarse a las tareas que se le presentan a lo largo de la vida. A diferencia del desarrollo de los módulos verbal y visual, que se desarrollan de forma tardía y en los cuales hay menor tiempo con ellos y no se han trabajado lo suficiente como para enfrentar con un éxito similar a las tareas analógicas. (Dehaene, 1992).

Por otra parte, el desarrollo de los módulos visual y verbal se remonta a la adquisición de la experiencia y a la integración de éstos como referentes para organizar el procesamiento numérico, ya sea con palabras designando números o los números arábigos, sin duda éstos son más difíciles de dominar y los sujetos requieren mayor adiestramiento y práctica. A continuación se presentan estudios que apoyan lo expuesto anteriormente.

También, en el estudio de Roselli (2006), se encontró que los niños con trastorno de cálculo tuvieron mayores errores en las comparaciones y con la escritura de números. De estas tareas, la primera se relaciona con el módulo visual y la segunda con el módulo verbal, debido a que la escritura del número se hacía mediante el dictado.

Por otra parte, Dehaene,(2003), mediante un estudio de caso determinó que el módulo más afectado es el módulo verbal, evidente en tareas de dictado. Sus resultados apoyan este estudio porque sustentan el daño en el módulo visual y en mayor grado del módulo verbal.

Los resultados aquí presentados son similares a los que reportan (Dehaene 1994, De Smedt 2010, Piazza 2010), y favorecen la hipótesis de la teoría del triple código propuesta por Dehaene (1992) porque se mostraron diferencias estadísticas al evaluar los tres módulos y encontrar que los sujetos tuvieron mayores dificultades en el módulo verbal en comparación con los otros dos.

La hipótesis de este estudio ha sido sustentada por evidencias provenientes de estudios anteriores. Así, Rousselle y Noël (2007), Dehaene y Piazza (2003; 2010), evaluaron un grupo de niños con trastorno de cálculo en tareas simbólicas y no simbólicas bajo las modalidades verbal, visual y analógica y encontraron que los niños con trastorno de cálculo mostraron mayor tiempo de reacción y menor número de aciertos en las tareas simbólicas en comparación con las tareas no simbólicas.

La diferencia en comparación con este estudio es que ellos evaluaron las tareas simbólicas en comparación con las no-simbólicas, al referirse a tareas simbólica afecta a la tarea verbal mas que a ninguna otra, esto es porque una tarea verbal simbólica seria el dictado de numero porque se esta volviendo simbólico lo que se dicta, mientras que en este estudio lo verbal se evaluó con comparación de frecuencia que no se encuentra determinado bajo el formato de tarea simbólicas.

Estos resultados fueron refutados por Butterworth (2008). Quien evaluó la representación simbólica y no simbólica en tareas de comparación en niños con trastorno de cálculo y sin trastorno, se encontraron similitudes en los resultados de las tareas de codificación simbólica y no simbólica. Sin embargo, las diferencias en los modelos de procesamiento numérico llevan a obtener resultados desiguales.

En primer lugar, Butterworth no contempla el módulo analógico como un proceso que puede ser evaluado con tareas específicas, sino que es una entidad posterior a la representación abstracta interna en la cual se realizan los procesos de cálculo, de la cual habla poco, y desde este modelo no se podrían medir tareas específicas donde se presenta la fracción de Weber y los efectos SNARC y SOAR, dando menos información sobre cómo se realiza el procesamiento numérico y la representación interna de dígito.

En segundo lugar, ambos modelos proponen un flujo de información en diferente sentido, mientras que para Dehaene, de acuerdo al tipo de estímulo, la información toma su curso siempre a algún módulo específico; siendo que para Butterworth si el estímulo (input) no conlleva a un cálculo, simplemente se procesa como una codificación sin pasar a ser una representación interna abstracta.

Como uno de los puntos más discutibles se encuentra la línea numérica, que para Butterworth no es importante para las tareas simbólicas y no simbólicas,

y por lo tanto no contempla el efecto de distancia, siendo que para Dehaene éste efecto explica cómo se hacen las comparaciones, y afirma que sin la línea numérica no es posible realizar estas tareas ni llegar a la representación interna de dígito.

Manuela Piazza (2010) demostró que los sujetos con trastorno de cálculo presentan más errores para acomodar números de manera adecuada en una triada de dígitos, con lo que demuestra la importancia de la línea numérica en tareas de comparación y cómo los sujetos con trastorno de cálculo no son capaces de ordenar de manera adecuada una serie de magnitudes o dígitos en una línea numérica.

Los resultados obtenidos aportan evidencia que señala que la codificación de estímulos no sigue el mismo proceso entre ellos, es decir, que las codificaciones se procesan de manera distinta cuando son visuales que cuando son verbales y por ello se obtuvieron resultados diferentes para cada uno de ellos, esto se ve reflejado en los resultados obtenidos. Si bien todas las tareas eran de comparación y aproximaciones en el caso analógico, fue cierto que no se presentaron los mismos resultados o resultados similares, lo cual nos indica que la manera como se codifica y se procesan los resultados no son de la misma manera.

Es una posible explicación, si bien en este estudio no se evaluaron de manera precisa los cambios en los tipos de codificación, esto sería una posible interpretación que sería a partir de los resultados en las tareas experimentales. La diferencia entre estos módulos puede ser explicada al recurrir a la representación interna de dígito, lo cual hace necesaria la presencia de una línea numérica que interactúa con cada módulo.

Los resultados obtenidos en el módulo verbal nos indican que los dos grupos muestran un porcentaje de error alto en modificaciones en la lectura y un bajo puntaje en las palabras leídas por minuto. Lo anterior se puede sustentar por la teoría propuesta por McCloskey y Dehaene (1985,1992) quienes explican que

los errores de transcodificación que se presentan en este módulo son de dos tipos de procesamiento: sintáctico o léxico.

Los errores del procesamiento léxico involucran errores en la producción de los elementos del número, como los dígitos o las palabras numéricas, pero está preservada la habilidad para ensamblar los elementos en un número que conserva la forma sintáctica apropiada y el mismo orden de magnitud. Es decir, las propiedades del dígito no se alteran y el sujeto puede realizar cálculos, pero si trata de leerlos es común que cambie la palabra que representa a tal cantidad. Por ejemplo, el sujeto lee “diecinueve” en vez de “15” (Otálora, 2002).

Los errores del procesamiento sintáctico involucran respuestas en las cuales el orden de magnitud del numeral es incorrecto. Los errores revelan dificultades de los sujetos para procesar las relaciones entre los elementos y ensamblarlos como un todo numérico. En este caso, hay errores al situar los dígitos en orden de acuerdo a su magnitud, por lo que puede omitir números o alterar el orden en el que se encuentran y lee “diecinueve” en vez de “109” (Otálora, 2002).

Como se mencionaba, en los resultados del estudio se encontraron deficiencias en las pruebas de lectura y esto se presentó tanto en el grupo de control como en el de estudio. Aunque siempre se conservó una tendencia de cometer más errores por parte de los sujetos con trastorno de cálculo, es importante analizar los procesos que están implicados en este resultado.

De acuerdo a las teorías de McCloskey y Dehaene (1985;1992), existen errores en la transcodificación, es decir, en las tareas que implican que la información se procese de un código a otro, por lo que la lectura, y principalmente la lectura de números muestra esta tendencia. En este caso, los errores aumentaron en cuanto a omisiones de palabras o sustitución de éstas, es decir, eran errores sintácticos y léxicos.

Al caracterizar la muestra y obtener datos sobre la lectura en sujetos con trastorno de cálculo abre otra perspectiva explicativa de las dificultades encontradas también en ésta área. El hecho de que coexistan dificultades en el cálculo y la lectura es útil para explicar que los procesos realizados en los módulos se encuentran relacionados, principalmente cuando se trata de transcodificación, por lo cual, al proponer medidas correctivas también deberán atenderse en algún momento las tareas de lectura y escritura de números.

Los resultados obtenidos en el módulo verbal tienen su justificación en los dos tipos de errores planteados por McCloskey y Dehane (1985;1992;1993), los cuales fueron descritos en párrafos anteriores son dos, el léxico y el sintáctico. Los bajos resultados que se presentan en tiempo de reacción y en porcentaje de aciertos encuentran su justificación en el error de procesamiento sintáctico, el cual se produce porque el orden de magnitud y su correspondencia con el numeral es incorrecto.

Recordemos que el módulo verbal se evaluó a través de la audición de pares de frecuencias con una duración determinada. En tal prueba los sujetos deberían comparar y decidir cuál de los dos era más largo. El problema que presentan los sujetos con trastorno de cálculo es que tienen problemas en ordenar la magnitud y después llevarla a la línea numérica, para que a partir de esto pueda emitir un resultado y logre decidir cuál de las dos frecuencias es más larga.

El decidir la duración de la frecuencia denota una ordenación espacial en la línea numérica y en la magnitud, y de tal forma va a encontrar su correspondencia con el numeral. Si bien la tarea no expresa de manera directa el uso de números, sí tiene como trasfondo la línea numérica, porque como tarea se les pide una comparación; el realizar una comparación denota, según la teoría de Dehaene (1992,1993), un acceso, en primer lugar al sentido de número y en un segundo momento una comparación en la línea numérica. Independientemente del formato,

se encuentran implícitos estos conceptos; es por eso que al comparar las frecuencias, su fondo es meramente numérico y tiene su justificación en esta teoría propuesta por Dehaene, que se utilizó como base piramidal para este estudio.

Los sujetos que presentan el trastorno de cálculo muestran peores resultados al evaluar este módulo ya que son mas propensos a cometer este tipo de errores; parece que existe una desconexión parcial o total al flujo de información, o cuando se debe transcodificar de un módulo a otro. Es por eso que tienen un porcentaje de aciertos más bajo y un tiempo de reacción más alto.

Si bien el módulo verbal se desarrolla a temprana edad, para los sujetos con trastorno de cálculo será un módulo en el cual se presentan errores porque tal vez no se da un desarrollo adecuado y se presentan estos tipos de errores muy comúnmente.

Las implicaciones educativas que tiene este proyecto son amplias, ya que se puede ver desde dos perspectivas. Por un lado, nos ayuda a identificar a los sujetos que tienen trastorno de cálculo y evaluarlos desde diferentes aspectos, es decir, que si se utiliza una metodología y pruebas como las usadas en este estudio, aparte de detectar a los sujetos con trastorno de cálculo también se va a poder caracterizar a los sujetos.

A partir de la caracterización se pueden evaluar otros aspectos a detalle, es decir, se puede estudiar de manera diferencial a los sujetos con hiperactividad o con trastorno de lectura, por lo anterior, este estudio serviría como un primer filtro para después profundizar en los aspectos mencionados.

Otra implicación del estudio es lo relacionado con el software diseñado y utilizado durante el estudio. Ya que ambos softwares ayudarían especialmente a

evaluar habilidades matemáticas en los diferentes tipos de codificación que se utilizan comúnmente en las tareas académicas.

La realización del presente estudio ayudó a las escuelas, a los directivos y a docentes en particular, a concientizarse de que existe una población que padece este trastorno y que la solución no es castigarlos o segregarlos de la demás población estudiantil, sino que pueden diseñar e implementar estrategias incluyentes para ayudar a que estos sujetos mejoren sus habilidades.

Si bien en este estudio sólo se detectó y caracterizó a la población con trastorno de cálculo, mediante la utilización de un software y algunas pruebas; en otro momento se pudiera pensar en un diseño pedagógico para que estos sujetos puedan mejorar sus habilidades, y este estudio tenga una praxis importante en el desarrollo de habilidades matemáticas.

En la actualidad se han desarrollado muchos estudios e investigaciones en lo relacionado al proceso de lectura, sin embargo, en las cuestiones matemáticas se han hecho muy pocos estudios al respecto, es por eso que muchas veces se tiene desconocimiento acerca de este trastorno.

Entre las características de los sujetos con trastorno de cálculo se encontraron algunos rasgos del TDAH, principalmente agresividad e impulsividad, esto tiene implicaciones educativas directamente en el comportamiento en la escuela, ya que los maestros describen estas conductas como problemáticas y afecta su rendimiento en otras tareas que no son de matemáticas. Es importante comentar esto, debido a que durante la aplicación de los experimentos, los sujetos tendieron a responder rápidamente aunque con un alto índice de errores, principalmente en el módulo analógico.

El que contestaran rápidamente puede ser una manifestación de impulsividad, ya que se mostraron entusiasmados al participar en este

experimento utilizando la computadora, además de que la presentación contenía colores vivos y contrastantes con figuras de diversos tamaños.

De esta manera, el presente estudio abona conocimientos sobre algunos aspectos del procesamiento matemático, a la vez pretende dar a conocer más el trastorno de cálculo y en consecuencia, se tengan más elementos para conocer en qué consiste este trastorno y describir las habilidades que conservan y las que se encuentran deterioradas o distorsionadas en los sujetos que tienen dificultad con las matemáticas.

En este estudio se utilizaron los criterios del DSM-IV-TR para diagnosticar a los sujetos tal y como se maneja en algunas escuelas; en relación a estos criterios, otro aporte a la educación de este estudio fue que no solo se limitó a encontrar los criterios que postula esta asociación, sino que se tomaron los elementos que ellos plantean y de ahí se aplicaron otras pruebas para tener una característica más amplia de la muestra, para así tener un conocimiento del trastorno y describir cómo se relaciona con otras habilidades que son fundamentales en la escuela.

Limitaciones del estudio

Una de las limitaciones de este estudio radicó en el tiempo porque me hubiera gustado evaluar a un número mayor de niños, y que de esta manera el estudio fuera más amplio. Dentro de este rubro también nos encontramos con las limitaciones de los periodos vacacionales y de época de exámenes, esto hizo que la fase experimental fuera más lenta porque afectó mucho el trabajo de campo; si bien se llevó a cabo lo planeado y se cumplió con los tiempos establecidos, sí quedó esa idea de hacer el estudio más amplio.

En cuanto a los recursos, si bien las escuelas proporcionaron lo necesario para llevar a cabo el trabajo de campo de manera adecuada, sí existieron ciertos problemas de recursos cuando nos referimos a las computadoras y el uso del cañón para que se llevara de manera más fácil y más adecuada el estudio; ya que algunas de las escuelas no contaban con bocinas o con cañón, tuve que hacerme cargo de buscar lo que se necesitaba y esto hizo que se atrasara el trabajo de campo.

Otro de los límites en la investigación es lo referente a la información, y más que nada a los software que se necesitaban para los experimentos, porque tal y como lo mencioné, yo tuve que diseñar los experimentos basados en los que reportaban los autores; esta fue una de las limitaciones y todo esto se ve reflejado en el tiempo que se invirtió para el trabajo de campo.

Otra limitación estaría en la precisión con la que se presentara o se pueda replicar de manera más cercana a los modelos propuestos por los autores que se manejan en este estudio. Aunque por otra parte, lo que se llevó a cabo en este estudio podría ayudar a que se pudiera replicar esto en cualquier lugar, porque si bien se tomaron elementos fundamentales de la teoría de McCloskey, Butterworth y Dehaene, básicamente se trataron de fundamentar desde la teoría de estos 3 autores pero teniendo más en cuenta los experimentos llevados a cabo por Dehaene.

Una limitante fue el buscar a los sujetos para incluirlos en el estudio, ya que tal y como lo reporta la literatura, el trastorno de cálculo se presenta en un bajo porcentaje de la población estudiantil; requirió tiempo y esfuerzo constante el buscar entre tantas escuelas y se aplicaron muchos test para llegar a encontrar a solo 32 sujetos; otra limitante fue que debían obtener ciertos puntajes en todos los test para poder pertenecer al grupo control o al grupo de estudio, lo cual finalmente se vio reflejado en tiempos muy largos para poder seleccionar a la muestra y aplicar los test.

Durante el trabajo de campo se encontró que en las escuelas no existe un programa en específico para poder detectar cuestiones de habilidades matemáticas, existen programas para abatir la deserción, o “ver bien para aprender mejor” que es para cuestiones oculares. Además se detectó que las primarias cuentan con un gabinete psicopedagógico y ellos aplican de manera personal programas para tratar cuestiones de comportamiento o hiperactividad, y es donde se destina la mayoría de los recursos económicos y de tiempo, pero no tienen nada para evaluar las habilidades matemáticas ni tratar a los niños con dificultades en esa área. En resumen, la prioridad de atención en las primarias visitadas son las cuestiones de comportamiento o actitud, no las habilidades matemáticas.

Relevancia del estudio

Este estudio aporta bases para caracterizar el desempeño en tareas experimentales de comparación y aproximación en niños con trastorno de cálculo y compararlo con los niños que no muestran este trastorno. También ayudó para evidenciar la aplicación en la realidad de una teoría sobre la estructura cognitiva de las habilidades matemáticas y ver en cual o cuales módulos los niños presentan un mayor número de errores en comparación con los que no muestran este trastorno.

También ayudó para ver que, si bien los niños que no muestran trastorno de cálculo sí son mejores en tareas para la evaluación de módulos, también ellos presentan diferencias entre los resultados obtenidos en los tres módulos. Esto nos ayuda a ver que los niños en edad escolar tienen problemas en diferentes aspectos, y una posible explicación es que es un reflejo de nuestro sistema educativo, ya que no permite que los alumnos desarrollen las habilidades de acuerdo al nivel esperado.

Los resultados ayudaron a determinar estas afirmaciones y más si se ven también los tiempos de reacción de la fase experimental, los cuales dicen en qué tarea son mejores o peores, y en cuales sus tiempos de reacción son mejores en comparación con los otros. De esta manera, es posible relacionar los resultados con el hecho de que los sujetos con trastorno de cálculo se tardan más respondiendo en tareas de comparación que los sujetos sin este trastorno, además, entre los mismos sujetos se encontró que tienen más dificultades en tareas donde se utilizan sonidos en comparación con las que utilizan vías de representación visual (con imágenes) o figuras.

La relevancia de confirmar estos datos y las afirmaciones formuladas hasta el momento radica en que se conoce más a detalle en qué son diferentes los sujetos con trastorno de cálculo y se ha sustentado en un modelo de procesamiento para localizar estas dificultades.

Estos resultados ayudarán a que en futuras investigaciones se indague más porque no se muestran resultados homogéneos entre los estudiantes del turno matutino y vespertino. Si bien en este estudio no fue el fin el comparar a los dos turnos, sí llama la atención el caso de que los sujetos de la mañana se mostraron mas hábiles en matemáticas según el WRAT ,que se vio reflejado en los resultados en número de aciertos como en tiempo de reacción y el por qué de esta relación, o el hecho de por qué se presenta mayor número de incidencia en el turno vespertino en comparación con el turno matutino. No se presentaron en la parte de los resultados la comparación de los dos turnos porque el fin del estudio no era comparar a los dos turnos, solamente se menciona aquí como relevancia del estudio porque este puede ser un aspecto que se podría estudiar más a fondo en futuras investigaciones, profundizando sobre aspectos educativos para brindar una hipótesis que incluya otras dimensiones que aquí no tuvieron relevancia.

Como aspecto no resuelto queda lo relacionado con la fracción de Weber, para obtener estos datos solo se podía aplicar a los experimentos analógicos y visuales, para el experimento verbal no aplica porque es una representación

interna de la cantidad misma que se muestra en una pantalla. Es por eso que en el módulo verbal no aplicaría porque no se esta apelando a ninguna representación, ya sea visual o analógica, simplemente se esta mostrando una serie de sonidos que no llegan a la representación misma sino que se trata de una abstracción de una serie de sonidos.

En lo correspondiente al módulo visual y analógico si aplicaría la fracción de Weber, porque se muestra una representación que después se traduciría en una representación interna, para poder obtener este dato se necesita un algoritmo que tiene que ver con los tiempos de reacción y la reacción fisiológica a un estímulo.

Para programar los software que midan la fracción de Weber se necesita una programación muy avanzada para deducir dicho algoritmo, si se hubiesen obtenido las dos fracciones en ambos experimentos, el análisis hubiera sido muy completo porque se lograrían comparar representaciones internas en dos formas de codificación.

Lo cual nos indicaría cuál de las dos representaciones es más fuerte, si la visual o a la analógica, el haber podido determinar este tipo de dato nos hubiese ayudado a vincular la investigación con cuestiones de neurociencias. La relevancia de estos datos que no se pudieron analizar fue importante porque hubiese sido importante ver cual estímulo se presenta con mayor intensidad.

Debido a las condiciones del diseño de software y su aplicación, no se logró medir el efecto SOAR, SNARC y la Fracción de WEBER; estos efectos hubiesen sido muy importantes porque harían el estudio más profundo y podrían aportar más la teoría que proponen Dehaene y Piazza (2009,2010).

Pero no se cuenta con los materiales necesarios ni con los recursos para poder haber medido estos tres efectos, ya que son mediciones muy precisas y se necesita equipo específico; es por eso que esta fue una debilidad que muestra

este estudio, que más que ser una debilidad se puede traducir como una línea para una futura investigación donde se perfeccione el software y se pueda medir algún efecto en particular y vincularlo con los resultados ya obtenidos en este estudio.

Este estudio nos podría reflejar una praxis por sí mismo, se podría aplicar en instituciones públicas donde no se cuenta con los medios necesarios para diagnosticar el trastorno de cálculo o donde es muy difícil acceder a un gabinete psicopedagógico, con la creación de los experimentos.

Se podría simplificar mucho el trabajo porque solo se tendrían que aplicar una serie de pruebas que ya se encuentren estandarizadas y aplicar los experimentos; de esta manera se simplificaría el trabajo para evaluar las habilidades matemáticas y en específico la analógica, visual y verbal.

Esto es parte de la teoría de Dehaene (1992), que estos tres campos son fundamentales en el desarrollo de las habilidades matemáticas, son los pilares para entender el procesamiento numérico, como se codifica la información y como se realizan tareas de diferentes tipos. Es por eso que es esta investigación tiene un campo práctico amplio, porque no demanda grandes recursos ni tener a grandes especialistas en el tema.

Las líneas de investigación que sugieren para seguir esta investigación tienen fondo en las ciencias cognitivas y en la ciencia de la educación; en las ciencias cognitivas tiene su relación con el estudio de los diferentes efectos que no se pudieron evaluar y que sería interesante estudiar para tener una visión más amplia, de igual manera este tipo de resultados se podría vincular con algunas otras ciencias como podrían ser las neurociencias.

De igual manera el partir de esta investigación para poder proponer una solución al problema del procesamiento numérico sería una futura línea de

investigación que se deberá de trabajar. Al conocer el problema y en que módulo radica, se deberían proponer tareas para que los sujetos con trastorno de cálculo puedan mejorar su habilidades en los módulos específicos donde se presenta el problema en las tareas de comparación.

Esto a su vez tendría un impacto directo en el campo de las ciencias de la educación porque se estaría atacando un problema muy particular en las escuelas en relación a los desempeños en matemáticas. Al desconocer el trastorno de cálculo, muchas escuelas juzgan a sus alumnos solo como malos estudiantes o que no muestran las habilidades específicas para cursar sus estudios básicos.

Pero en algunos casos podría ser que los sujetos sí tienen habilidades intelectuales para cursar sus estudios, y el problema podría deberse al trastorno de cálculo. En muchas ocasiones las escuelas no son consientes de este tipo de trastorno porque no se cuenta con la evaluación adecuada.

Es por eso que una futura línea de investigación seria en el campo mismo de la educación, desarrollar formas de evaluación para que sea más sencillo detectar el trastorno y ya detectado el trastorno que se pueda aplicar alguna medida correctiva para poder bajar los índices de reprobación y aumentar el aprovechamiento en las habilidades matemáticas.

Es por eso que se sugiere como futura línea de investigación su aplicación en escuelas, en específico para la detección y medidas correctivas para mejorar las habilidades de los sujetos con trastorno de cálculo.

11.Conclusiones

El estudio de la representación del número en tres modalidades distintas nos permite acercarnos al análisis del “sentido numérico” propuesto por Dehaene y Piazza (1992,1995). Sobre el trastorno de cálculo como el resultado de problemas en el sentido numérico, el cual tiene como función básica ayudarnos a identificar y comparar cantidades.

En este estudio no se midió con un experimento en específico lo que es el sentido numérico, aunque se parte del supuesto que implícitamente se encuentra y se aplica en los experimentos que se llevaron acabo, aun así basado en la teoría propuesta por Dehaene (1992) se puede llegar a la afirmación de que sí existe un problema en lo que es el sentido numérico.

La teoría de Dehaene y Piazza (2009,2010) nos dice que se presenta un mayor número de errores o problemas en el módulo analógico en comparación con los otros módulos. Aquí no se pudo probar en específico, porque si bien es determinante el hecho de que sí presentan problemas en este módulo, en este estudio resultó que los niños con trastorno de cálculo también presentan problemas en los otros módulos, que son el visual y el verbal.

Entonces no se logró ver esa diferencia tan marcada del módulo analógico sobre los otros, sino que más bien se presenta que, quien tiene trastorno de cálculo presenta problemas en todos los módulos y más si se le compara con un grupo de características iguales pero sin que presenten el trastorno de cálculo.

La idea que proponen Piazza y Dehaene, los cuales tienen la tesis de que debe de existir otro subtipo de trastorno de cálculo, el cual implica una desconexión parcial entre símbolo de números y la correspondencia de cantidades, pienso que es viable basada en el estudio que realicé. Porque al probar, tanto en el experimento analógico como en el visual, que sí existe un corte

en esta categoría o subtipo de procesamiento, muestran una relación errónea entre el símbolo de número que se representan a nivel mental y al plasmar los números o expresarlos en correspondencia con la realidad.

Esta idea o esta tesis podría ser un tema para próximos estudios, el poder comprobar esta relación directamente con un experimento, la idea central de mi estudio no era el probar esta relación más se nota una breve implicación con este problema.

La idea de que no se presenta una adecuada maduración del módulo analógico, que esto a su vez propicia el trastorno de cálculo y que tiene repercusiones mayores en dicho módulo, en este estudio no se pudo probar como se ha mencionado con anterioridad.

Los errores en los módulos son muy similares, es decir, no existe una diferencia en uno en comparación con otro; es por eso que se puede deducir que más que presentarse un error específico en un módulo determinado, el trastorno de cálculo afecta a todos los módulos en general. No existe un módulo más dañado que otro, sino que todos presentan errores, y pareciera que el trastorno de cálculo afecta por igual a todos.

Al presentarse un déficit en los 3 módulos de procesamiento de la información da paso al trastorno de cálculo, y si bien líneas arriba se propuso un nuevo subtipo, eso sí tiene importancia porque indicaría que el problema existe entre el símbolo de número y su correspondencia con la cantidad.

12. Bibliografía

- Ardila, R. (2005). *Neuropsicología de los trastornos del aprendizaje*. Guadalajara: Manual Moderno.
- Ardila, A., & Rosselli, M. (2002). Acalculia and dyscalculia. *Neuropsychology Review*, 12, 179-231.
- Asociación Estadounidense de Psiquiatría. (2000). *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales* (4^a ed., Texto rev.). Washington, DC.
- Butterworth, B. (2005). *Developmental dyscalculia*. En J. Campbell (Ed.), *Handbook of mathematical cognition* (pp. 455-467). Nueva York, EE.UU.: Psychology Press.
- Butterworth, B. (2009). *The mathematical brain*. London: Macmillan.
- Campbell, J.I.D. (1994). Architectures for numerical cognition. *Cognition*, 53, 1-44.
- Caramazza & Hillis, 1990. Selective impairment of semantics in lexical processing. *Cognitive Neuropsychology*, 7, 191-243.
- Cohen, L., Dehaene, S., & Verstichel, P. (1994). Number Words and Number non-words. A case of deep dyslexia extending to arabic numerals. *Brain*, 117, 267-279.
- Cohen, L. (2000). Calculating without reading: *Cognitive Neuropsychology*. 17, 563-583.
- Cohen, L., Dehaene, S., Chochon, F., Lehericy, S. & Naccache, L. (2000). Language and calculation within the parietal lobe: a combined cognitive, anatomical and fMRI study. *Neuropsychologia*, 38 (2000) 1426-1440.
- D. Alonso, L. F. (2001). Mecanismos cerebrales del pensamiento matemático. *Revista de Neurología*, 33 (6) 568-576.
- D. Castro-Cañizares a, b. N.-P.-C. (2009). Teorías cognitivas contemporáneas sobre la discalculia del desarrollo. *REV NEUROL*. 33, 143-148.
- Dehaene, S. (1997). *The Number Sense: How the mind Creates Mathematics*. New York: Oxford.
- Dehaene, S. y Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, 1, 83-120.

- Dehaene, S., Piazza, M., y Pinel, P. y. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology* 60 (2003) 123-152.
- Dehaene, S., Naccache, L., Cohen, L., Bihan, D., Mangin, J. F. & Poline, J.B. (2001). Cerebral mechanism of word masking and unconscious repetition priming. *Nature*, 7.
- Dehaene, A. K. (2009). Dynamic representations underlying symbolic and nonsymbolic calculation: Evidence from the operational momentum effect. *The Psychonomic Society*, 71 (4) 803-821.
- Dehaene & Akhavein, (1995). Attention, automaticity, and levels of representation in number processing. *Journal of experimental Psychology: Learning, Memory and cognition*. 21, 314-326.
- De Smedt, B., & Gilmore, C.K. (2010). Defective number module or impaired access? Numerical magnitude processing in first graders with mathematical difficulties. *Journal of experimental child psychology*. doi: 10.1016/j.jecp.2010.09.003.
- Dienes, Z. (1970). *Las seis etapas del aprendizaje en las matemáticas*. Barcelona: Teide.
- Fischer, M. H., Castel, A. D., Dodd, M. D., & Pratt, J. (2003). Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature Neuroscience*, 6, 555–556.
- Flores, P. (2001). *Aprendizaje y evaluación en matemáticas*. Madrid: Síntesis.
- Fodor, J. (1983). *The Modularity of Mind: An Essay on Faculty Psychology*. Madrid: Morata.
- Fontes S. (1994). Consideraciones teóricas sobre las leyes psicofísicas. *Revista de Psicología General y aplicada*, 47(4), 391-395.
- Geary, D. C., y Hoard, M. K. (2001). Numerical and arithmetical deficits in learning-disabled children: Relation to dyscalculia and dyslexia. *Aphasiology*, 15, 635-647.
- Gevers, G. (2006). The SNARC effect does not imply a mental number line. *Cognition*. 108, 263-270.
- Göbel, S., Walsh, V., & Rushworth, M.F. (2001). The mental number line and the human angular gyrus. *Neuroimage*. 14, 1278-1289.

- González-Hernández, A. (2007). Los números y otras secuencias se representan espacialmente. *Ciencia Cognitiva, revista electrónica de divulgación*, 33,10-11.
- Grabulosa, J. M. (2002). La discalculia del Desarrollo. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1-6.
- Gross-Tsur, V., Manor, O. & Shalev, R. (1996). Developmental dyscalculia: prevalence and demographic features. *Developmental Medicine y Child Neurology*, 38, 25-33.
- Hubbard EM, Piazza M, Pinel P, and Dehaene S. Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Review Neuroscience*, 6: 435–448, 2005.
- Hughes C., Russel J., Robbins T.W. (1994). Evidence for executive dysfunction in autism. *Neuropsychologia*, 32, 477-492.
- Jacobovich, S. (2006). Modelos actuales de procesamiento del número y cálculo. *Revista Argentina de Neuropsicología*. 7, 21-31.
- Kroll & Stewart, (1994). Translating from one language to another: The role of the words and concept in making connections. *Noordwijkerhout*. 16, 23-43.
- Landerl, K., Bevan, A. y Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9- year-old students. *Cognition*, 93, 99-125.
- Le Corre y Carey, (2007). One,two, three, four, nothing more: An investigation of conceptual source of the verbal counting priniple. *Cognition*. 105, 395-438.
- Le Corre, M. & Carey, S. (2008). Why the verbal counting principles are constructed out of representations of small sets of individuals: A reply to Gallistel. *Cognition*, 107(2), 650-662.
- López, E. F. (2005). *El lenguaje y el aprendizaje de las matemáticas. Un estudio desde la teoría de Chomsky*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- López, J. D. (2009). ¿Qué código subyace a las Multiplicaciones? Evidencias de una tarea de magnitud con primming enmascarado. *Escritos de Psicología*, Volumen 2 numero 3, 27-34.
- López-Ibor, A. J. J. (2002). *DSM-IV-TR. Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales. Texto revisado*. Barcelona: Masson.

- Mapelli D. , Rusconi E. & Umiltà C. (2003). The Snarc effect: an instance of the Simon effect? *Cognition*. 88 (3), 1-10.
- Martínez, P. F. (2008). *Aprendizaje en Matemáticas*. Granada: Universidad de Granada.
- McCloskey, M. (1985). Cognitive processes in number processing and calculation. *Brain and Cognition, Science*, 210, 1139-1141.
- McCloskey, M., Sokol, S.M. y Caramazza, A. (1990). *Cognitive representations and processes in number production: Evidence from cases of acquired dyscalculia*. In A. Caramazza (Ed.), *Cognitive neuropsychology and neurolinguistics: Advances in models of cognitive function and impairment*. (pp. 1-32). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Montiel, T & Martínez, J. (2011). Educación basada en evidencias, estrategias de intervención para los trastornos del aprendizaje de la lectura y el cálculo. Guadalajara. (En prensa).
- Otálora, Y. (2001). El niño como Matemático: compilación sobre la construcción del número y la enseñanza de la matemática en preescolar. 1-17.
- Neumärker, K., Bzefka, W., Dudeck, U., Hein, J. & Neumärker, U. (2000). Are there specific disabilities of number processing in adolescent patients with Anorexia nervosa? Evidence from clinical and neuropsychological data when compared to morphometric measures from magnetic resonance imaging. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 9, 11-21.
- Piazza M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition*, 33-41
- Risey, J. y Briner, W. (1990-1991). Dyscalculia in patients with vertigo. *Journal of Vestibular Research*, 1, 31-37.
- Romberg, T. A. (1993). *How one comes to know: Models and theories of the learning of mathematics*. In *Investigation into assessment in mathematics education*. London: Academic Publisher, 97-111.
- Rosselli & Matute, E. M. (2011). La Neuropsicología del Desarrollo Típico y Atípico de las Habilidades Numéricas. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 11 (1) 123-140.
- Rotzer, S. (2007). *Optimized voxel-based morphometry in children with developmental dyscalculia*, *NeuroImage*. Suiza: Elsevier.
- Salguero, P. (1997). El procesamiento de los números arábigos: una aproximación desde la neuropsicología cognitiva. Barcelona: Universidad de Huelva

- Rousselle, L. & Noël, M.P. (2007) Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: a comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102(3):361-95.
- Rusconi E.; Kwana, B. Giordano, B.L .; & Butterworth, B. (2006). Spatial representation of pitch height; the SMARC effect. *Cognition*. 99, 113-129.
- Sánchez-Alvares, M, A. (2008). *Psicología del aprendizaje de las Matemáticas: un enfoque cognitivo*. Oviedo: Facultad de Filosofía de Oviedo.
- Shalev R.S. (2007). "Prevalence of developmental dyscalculia," in Why is Math So Hard for Some Children? The Nature and Origins of Mathematical Learning Difficulties and Disabilities, eds. Berch D. B., Mazzocco M. M. M., editors. (Baltimore, MD: Paul H. Brookes Publishing, Co;), 49–60.
- Strang, R. (1983). *Concept-formation/ non verbal reasoning abilities of children who exhibit specific academic problems with arithmetic*. New York: Neuropsychology of learning disabilities.
- Ta'ir, J., Brezner, A., & Ariel, R. (1997). Profound developmental dyscalculia: Evidence for a cardinal/ordinal skills acquisition device. *Brain and Cognition*, 35, 184-206.
- Valle Lara Carmona. (2009). *When $7+3=4$ looks like correct: automatic solving of subtractions in verification task*. *Psychological Writing*. Málaga: Universidad Laboral de Malaga, 35-39.
- Von Aster, M., & Shalev, R. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49, 868-873.