Neurociencias y Enseñanza de la Matemática.
Prólogo de algunos retos educativos

JOSÉ ANTONIO FERNÁNDEZ BRAVO
Profesor de Didáctica de la Matemática
Centro de Enseñanza Superior Don Bosco
Universidad Complutense de Madrid

"Un hombre llamó a la puerta del rey y le dijo: dame un barco. ¿Y tú para qué quieres un barco?, si puede saberse, fue lo que el rey preguntó (...) Para buscar la isla desconocida, respondió el hombre. ¿Qué isla desconocida?, preguntó el rey, disimulando la risa, como si tuviese enfrente a un loco de atar, (…) La isla desconocida, repitió el hombre. Hombre, ya no hay islas desconocidas ¿Quién te ha dicho, rey, que ya no hay islas desconocidas? Están todas en los mapas. En los mapas, están sólo las islas conocidas. ¿Y qué isla desconocida es esa que tú buscas? Si te lo pudiese decir, entonces no sería desconocida. ¿A quién has oído hablar de ella?, preguntó el rey, ahora más serio. A nadie. En ese caso, ¿por qué te empeñas en decir que ella existe? Simplemente porque es imposible que no exista una isla desconocida." (Saramago, 2000)

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace siglos sabemos que en el cerebro se produce la acción intelectual; un complejo proceso que guarda todavía para nuestro conocimiento, enigmas y secretos de insospechada magnitud en cantidad y tamaño. Hace más de cien años que Golgi y Ramón y Cajal descubrieron la ramificación de las células nerviosas, sus conexiones o sinapsis. A partir de ese momento, el avance neurocientífico ha sido espectacular y, aunque actualmente estemos muy lejos de dar respuestas a cómo funciona el cerebro, es tarea educativa principal incorporar a la actividad pedagógica lo que sabemos sobre el 'cómo pensamos' y el 'cómo sentimos', y traer a consideración algunas preguntas.

Según la teoría del localizacionismo cerebral, la actividad matemática se presenta, en mayor medida, en el lóbulo frontal y parietal del cerebro. Dentro del lóbulo parietal, se registra mayor consumo de energía con la actividad matemática en la región denominada surco intraparietal y en la región inferior. Parece ser que la región inferior parietal controla el pensamiento matemático y la capacidad cognitiva visual-espacial. Actualmente, se cree que las tareas complejas del procesamiento matemático se deben a la interacción simultánea de varios lóbulos del cerebro[1]. La simple resolución de un problema en el que intervenga una operación aritmética requiere de habilidades verbales, espaciales, conceptuales, aritméticas, razonamiento,…

¿Sabremos estimular convenientemente la provocación del proceso que interactúa en el cerebro para el aprendizaje de la matemática? Si pudiéramos fotografiar una misma idea matemática generada en

[1] "La topografía cerebral de la aritmética, aunque incompleta todavía, nos permite afirmar, por ejemplo, que el sentido numérico se asocia al lóbulo parietal inferior y que la resolución de cualquier tarea aritmética, por simple que sea, no supone la activación de una única área cerebral, sino la participación de varias áreas que, formando partes de distintos circuitos, constituyen el sustrato neuronal de los distintos procesos cognitivos elementales que conforman esa tarea." (Alonso y Fuentes, 2001).

el cerebro de varias personas como resultado de un proceso, e ir hacia atrás hasta donde surgió dibujando el recorrido que ha realizado, ¿obtendríamos el mismo dibujo y pasaríamos gráficamente por las mismas áreas cerebrales? Explicaciones complejas a las que habrá que dedicar años de investigación.

2. Cerebro y pensamiento matemático

2.1. La expresión intelectual en la interacción con el medio

La matemática es una actividad mental, independiente de la experiencia. El matemático trabaja a partir de definiciones y axiomas y llega a verdades. No obstante podemos interactuar con el mundo físico mediante el conocimiento que acumulamos por la actividad matemática. Esta interacción del conocimiento matemático con otras realidades, que se considera como un proceso de matematización, se puede producir mediante los siguientes, digamos, 'acoplamientos': adaptación, modelización o resurgimiento.[2]

- Adaptación: el conocimiento matemático que se posee se aplica a la realidad objeto de estudio o contribuye a su desarrollo.
- Modelización: La matemática estudia la realidad, creando modelos a partir del conocimiento matemático que se posee.
- Resurgimiento: El conocimiento matemático se reconoce en el comportamiento de realidades.

Conviene tener en cuenta que, en muchas ocasiones, el proceso de matematización puede llevarse a cabo a través de más de un 'acoplamiento', siendo a veces muy difícil distinguir a qué 'acoplamiento' pertenece qué parte del proceso. Esto es debido, tanto a la propia evolución de la matemática como a la evolución de la ciencia, que interviene en la interacción con la realidad objeto de estudio. Observemos, por ejemplo, como algunas veces, la modelización de una determinada realidad tiene como consecuencia el surgimiento de nuevos campos de investigación matemática. A partir de ahí esa investigación puede ser estrictamente matemática, generando conocimientos que, en un futuro, intervengan en procesos de matematización, mediante los mismos 'acoplamientos' descritos.

Respecto al 'acoplamiento' por adaptación, podríamos decir que consiste en lo siguiente: la ciencia que estudia una realidad física hace uso de teorías matemáticas ya descubiertas, que hasta entonces vagaban sin aplicación física o se utilizaban en prácticas distintas. Las series de Fourier es una herramienta matemática y física que ha sido utilizada, después de su formulación, en medicina y en diversas ciencias, con múltiples aplicaciones.

Respecto al 'acoplamiento' por modelización digamos, de forma poco ortodoxa, que la matemática interactúa con una realidad física creando modelos matemáticos. Simplificando detalles podríamos decir que un modelo matemático consiste en la observación de determinadas propiedades, a partir de las que se construyen unas definiciones y axiomas, y el estudio de variables para establecer la formulación de relaciones entre ellas teniendo en cuenta las definiciones construidas. La finalidad de un modelo matemático consiste en explicar el comportamiento de esa realidad física, o predecir con éxito situaciones que todavía

[2] He tenido que recurrir osadamente a este juego de palabras porque me resulta más fácil describir diferentes aplicaciones de la Matemática.

no han podido ser observadas. El funcionamiento de los canales iónicos que activan las neuronas se predijo, por Hodgkin y Huxley, a través de un modelo matemático que consistía en un sistema de cuatro ecuaciones diferenciales no lineales, y todavía no se conocía la estructura de esos canales, ni se habían podido observar directamente. La dificultad que tiene la creación de modelos matemáticos reside en la imposibilidad de observar directamente las variables intrínsecas de las células vivas. Parece ser que esto está resuelto. Recientemente el matemático Ivan Tyukin, de la Universidad de Leicester, en el Reino Unido, apoyándose en la física cuántica y registrando la actividad eléctrica de respuesta de estas células, ha creado un método que permite reconstruir las variables ocultas. Esta nueva técnica genera modelos matemáticos que describen el comportamiento de las células nerviosas del cerebro.

Respecto al 'acoplamiento' por resurgimiento, podríamos expresarlo por el simple reconocimiento de propiedades o formulaciones matemáticas en otras realidades. Miguel Maravall, físico español, ha observado cómo las neuronas del sistema táctil de las ratas hacen cálculos estadísticos para adaptarse al entorno. El modelo de Teuvo Kohonen sobre las conductas asociativas de las neuronas para la información visual, descrito en 1982, se verificó en el año 2005. La neurología ha tardado veintitrés años en demostrar que las ecuaciones del matemático se cumplen y que el comportamiento de esas neuronas se corresponde con la descripción matemática.

Cuando Euclides divide un segmento AB de tal forma que: AC + CB = AB, y, AC > CB, llama "media y extrema razón" a la proporción AB/AC = AC/CB. Esta proporción se conoce como el número Phi, y está presente en muchísimas realidades físicas: la disposición de los pétalos de una rosa, las conchas espirales de los moluscos, la disposición del cuerpo humano. Lo más desconcertarte es que cuando nuestro cerebro considera algo armónico y bello, esta proporción está presente.

Después de escribir estos sencillos ejemplos sobre la matematización de nuestro universo se nos ocurren algunas preguntas. ¿Es posible que nuestra estructura del cerebro ya tenga un conocimiento y una determinada configuración para la interacción con el medio, que nos haga entender el mundo así y no de otra manera? ¿Por qué consideramos que unas determinadas formas son bellas y otras no? ¿Por qué una realidad produce el mismo placer o disgusto en distintas y múltiples personas? ¿Por qué personas tan distanciadas y sin haber tenido nunca contacto cultural llegan a los mismos hallazgos? ¿Es necesario, respecto a nuestra forma de conocer, pasar por determinados procesos para la adquisición de determinados conceptos? ¿Es posible que, del mismo modo que hay transmisión genética de algunos conocimientos, haya transmisión genética de habilidades, facultades y estructuras que el cerebro humano ha ido desarrollando por los diferentes aprendizajes? ¿Podríamos decir entonces que hay transmisión genética de 'posibilidades de superación'? En este caso, más importancia tiene el esfuerzo intelectual que el cerebro ha generado en el proceso de la adquisición, que el resultado del aprendizaje. Y, si así fuera: ¿qué esfuerzos intelectuales convendría provocar para producir procesos que permitan el desarrollo del cerebro?; ¿qué esfuerzos se podrían considerar superiores y cuáles, básicamente, necesarios para que el cerebro humano mantenga las facultades intelectuales?

Estas preguntas de exagerada importancia para la relación entre neurociencias y matemáticas tienen, a mi juicio, extrema y más importancia en consideraciones educativas y pedagógicas.

2.2. Para saber enseñar hay que saber cómo se aprende

Cuando comparamos números para saber cuál es mayor o menor, ocurre siempre un mismo fenómeno: cuanto más distancia hay entre estos números, menos tiempo se tarda en decidir. Así, por ejemplo, se tarda menos en decidir sobre 2 y 34, que sobre 96 y 95. A este fenómeno se le conoce como "el efecto de distancia". Otro fenómeno conocido como "el efecto de tamaño" nos muestra que, ante igual distancia numérica, la comparación entre dos números es más difícil cuanto más aumentan sus valores numéricos. Así, es más difícil la discriminación entre 39 y 37, que entre 6 y 4. (Moyer y Landauer, 1967) Si esto es causa de genes o de experiencia es todavía cuestión discutible. Sin embargo, parece ser que la dirección de la asociación números-espacio, en lo que se conoce como "el efecto SNARC", está influido por la cultura. "El efecto SNARC" hace referencia al hecho de que, en experimentos de tiempo de reacción con números, 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 sus 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." (Dehaene, Bossini y Giraux , 1993)

Ejercicios numéricos y operaciones de cálculo activan la parte horizontal del surco intraparietal del cerebro. Niños de 3 o 4 meses activan las neuronas de este surco distinguiendo cantidades. Martínez y Argibay (2007), nos cuentan que en un estudio realizado con bebés de 5 meses de edad, "se colocó una marioneta en un escenario y luego se la cubrió con un telón. A continuación otra marioneta idéntica a la primera fue ubicada delante del telón mientras el bebé observaba. Si al abrir el telón aparecían ambas marionetas, el bebé no se sorprendía, y no observaba durante mucho tiempo el escenario. En cambio si la marioneta oculta por el telón se había retirado el bebé miraba al escenario durante un tiempo más largo. Lo mismo ocurría cuando aparecían tres marionetas. Estas respuestas indican que el bebé puede interpretar que el agregado de uno a uno da dos y no tres ni uno" En el Laboratorio de Estudios del Desarrollo de la Universidad de Harvard, se observó que los niños de 6 meses de edad pueden discriminar visualmente entre cantidades presentadas como cocientes de '2' tales como entre 16 y 8. Lo mismo sucede al percibir las cantidades en forma auditiva, lo cual avala la noción de que los bebés son capaces de procesar las cantidades en forma abstracta independientemente del modo de presentación, sea este visual o auditivo. (Spelke, 2000)

El conocimiento de los avances neurocientíficos aportará mucho a las consideraciones pedagógicas en los procesos de enseñanza-aprendizaje para el desarrollo de la actividad neuronal; para saber cómo se enseña hay que saber cómo se aprende. Sin embargo, queda mucho que investigar para saber:

- ¿Cuándo una respuesta determinada del cerebro se debe a condicionantes de métodos de enseñanza? ¿Cómo formas de enseñar diferentes pueden producir mayor o menor desarrollo de la actividad neuronal? Investigadores suecos[3] acaban de demostrar recientemente que un entrenamiento de la memoria provoca cambios químicos en el cerebro humano. Esto prueba la relación interactiva que existe entre la cognición y la estructura del cerebro. (Mcnab, y otros:2009)

[3] Swedish Medical University Karolinska Institutet de Estocolmo.

- ¿Cuándo una respuesta determinada del cerebro se debe a la genética y configuración de los niveles de organización del Sistema Nervioso gracias a una combinación de elementos químicos? ¿Independientemente a la forma de interactuar con el medio la respuesta del cerebro es siempre la misma?
- ¿Cuándo se debe a ambas y en qué proporción? "Los cambios químicos y anatómicos probablemente ocurren a lo largo de toda la vida partiendo desde lo genético y las experiencias del desarrollo, en un complejo interjuego con las fuerzas ambientales y es probable que éstas continúen influenciando en la estructura y función celular, dando a su vez forma a las habilidades y conductas del individuo." (Alcázar, 2002) "Parece imposible que nuestros genes determinen la estructura exacta de nuestros cerebros; mucho más verosímil resulta que éstos determinen modelos de crecimiento más o menos expuestos a los efectos modificantes de la experiencia" (Arbid, 1982)

3. Educación y neurociencias

3.1. Apuntes sobre el aprendizaje, para la enseñanza

Información recibida e información registrada. El cerebro humano recibe unos 400.000 millones de bits de información por segundo, pero solo somos conscientes de dos mil[4]. De esa información registrada conscientemente, la memoria guarda aproximadamente un 10%. En el mejor de los casos de extrema atención, cuando nos dedicamos a exponer una lección la memoria a corto plazo retiene el 10% de la información registrada por el cerebro consciente. Si a esto añadimos que la exposición informativa de un tema exige habitualmente que el alumno se limite tan solo a escuchar, lo que se provoca es una pasiva actividad cerebral y, dado que los estímulos del cerebro son bajos, suele inhibirse la motivación y variables afectivo-sociales, inhibiéndose también las respuestas de acción y reacción mental. Diferente fijación cerebral se observa cuando presentamos propuestas desafiantes de obligado esfuerzo intelectual, o generamos diálogos abiertos a la búsqueda de conocimiento mediante intervenciones que permiten al aprendizaje el protagonismo que necesita. En estas situaciones no es la información, sino la formulación de preguntas la que reina de modo supremo. La actividad cerebral aumenta, y aumenta la cantidad de respuestas que se despliegan ante los estímulos percibidos. Se activan las atribuciones, la motivación, la reflexión, la autoestima. El cerebro consciente registra mucha más información, se mejora la memoria de trabajo y se retiene durante más tiempo.

Utilización de materiales. Las terminaciones nerviosas que tenemos en las yemas de los dedos estimulan nuestro cerebro. La manipulación de materiales genera una actividad cerebral que facilita la comprensión. Cuando se entiende y comprende lo que se está aprendiendo se activan varias áreas cerebrales, mientras que cuando se memoriza sin sentido, la actividad neuronal es mucho más pobre. También las características de los materiales didácticos y la metodología empleada en su utilización, debería ser objeto de investigación. Mediante un estudio computacional se ha observado que la activación neuronal para el reconocimiento de cantidades es mayor si se estimula a partir de materiales didácticos que

[4] Que seamos conscientes de 2.000 bits de información por segundo, no quiere decir que el cerebro sólo procese eso, lo que no sabemos es qué hace con ese resto de información de la cuál nosotros no somos conscientes.

presentan la cantidad de puntos junto al número cardinal con el que se corresponde esa cantidad, que si se presenta sola la cantidad de puntos.

Butterworth (1999) y Dehaene (1997), afirman que las personas humanas nacemos con un módulo numérico que la escuela se encarga de obstaculizar. Aconsejan a la enseñanza de la Matemática el desarrollo del razonamiento intuitivo, la manipulación de materiales y el carácter lúdico de las actividades, para interactuar con la mente del sujeto.

'Error' y 'mal razonamiento' no son sinónimos. El cerebro se encarga de generar razonamientos a partir de las informaciones registradas. Cuando un niño responde con un error científico no quiere decir que haya razonado mal, o su cerebro esté deteriorado –como algunos creen–. Ante la suma 1 + 2, algunos niños responden 12. Es verdad que hay error científico (1 + 2 = 3) pero no hay error de razonamiento puesto que la escuela le ha dicho que "sumar es juntar". El cerebro piensa de esta manera: "Si sumo, entonces, junto. He ahí una suma (1 + 2), luego, junto (12)". Considero que el alumno comete error científico cuando hay discrepancia entre la respuesta que da y la respuesta que la ciencia espera. Por error lógico entiendo error en el razonamiento. Puede ocurrir entonces que en una respuesta dada se presente: a) error científico y error lógico, b) error científico y acierto lógico, c) acierto científico y acierto lógico, y, d) acierto científico y error lógico. Es tarea escolar de fuerte investigación didáctica buscar las causas de estas posibilidades y ser capaz de identificar el error o acierto, científico o lógico, de las respuestas que obtiene.

Emoción y aprendizaje. Los recientes avances en neurociencia ponen de relieve las conexiones entre la emoción, el funcionamiento social, y la toma de decisiones. Estos avances afectan directamente en materia de educación. Los aspectos de la cognición están directamente relacionados y afectados positiva o negativamente por los procesos de emoción. Los aspectos emocionales, el pensamiento y la cognición guardan estrecha relación. "Las emociones están relacionadas con los procesos necesarios para la adquisición de los conocimientos que se transfieren en la escuela. Nuestra esperanza es que se construya una nueva base para la innovación en el diseño de entornos de aprendizaje. Cuando los profesores no aprecian la importancia de las emociones en los estudiantes, no aprecian un elemento decisivo para el aprendizaje. Se podría argumentar, de hecho, que no aprecian en absoluto la razón fundamental por la que los alumnos aprenden."(Immordino-Yang y Damasio, 2007).

Hoy son muchos todavía los profesores que están arraigados al conceptualismo, dando más importancia a la mecanización extrema que a los aspectos facilitadores de un proceso intelectual creativo. Lo ortodoxo no está en la matemática, sino en el cómo pensamos para desarrollar la capacidad matemática en el cerebro. Y puede ocurrir que esta capacidad, con auténticas posibilidades de desarrollo, se quede oculta para siempre por esas prácticas que desvelan pensamientos sentidos y sentimientos pensados: "yo no valgo", "a mi se me dan mal las matemáticas" "yo nunca las entendí, y ya me dijeron que no era lo mío", "¡déjame!, ¡ni me hables!, aún recuerdo como temblaba cuando salía a la pizarra",… La emoción positiva genera químicos que facilitan la transmisión de impulsos; querer saber y sentirse bien sabiendo son tareas fundamentales que la escuela debe poner a disposición del alumno. Los pensamientos negativos generan químicos que bloquean la conexión entre los neurotransmisores.[5]

[5] "Las personas que siempre están tratando de interpretar las cosas negativamente cuando las pueden interpretar de forma positiva, están viviendo una vida mala y están dañando su cerebro." "El cerebro es una entidad muy diferente de las del resto del universo (...) Somos básicamente maquinas de soñar que construyen modelos virtuales del mundo real" (R. Llinás, 2003)

Son muchos los científicos seguidores de las investigaciones de Paul MacLean, que asegura que poseemos tres cerebros diferentes interconectados. Cada uno de ellos se distingue anatómicamente, tiene sus propias funciones y pertenece a una etapa evolutiva diferente: El complejo Reptiliano, el sistema Límbico y la Neocorteza. El complejo Reptiliano o cerebro primitivo, compuesto por: los ganglios basales, el tallo cerebral y el sistema reticular, ejerce el control en la respiración y la circulación, y juega un papel importante en el comportamiento instintivo por la supervivencia. El sistema Límbico o cerebro intuitivo es el área del cerebro más relacionada con las emociones y los sentimientos. Se le asocia también directamente con las funciones de formación de memoria, aprendizaje, y experiencias, jugando un papel importante en el recuerdo de: hechos, fechas, datos, nombres,…. Estructuras importantes del sistema Límbico son: el Tálamo, el Hipotálamo, la Amígdala, la Pituitaria, y el Hipocampo[6]. La capa evolutiva mas reciente es la Neocorteza o cerebro reflexivo, que se encarga como parte 'pensante' de las funciones cognoscitivas del ser humano. Se presenta en los mamíferos y divide al cerebro en dos hemisferios: izquierdo y derecho. Cada uno de ellos se divide en cuatro regiones, llamadas lóbulos: frontales, parietales, occipitales, y temporales. Al conjunto de fibras neuronales que conecta los dos hemisferios se le denomina Cuerpo Calloso.

Para que el cerebro reflexivo entre en acción, el sujeto tiene que arroparse por un estado de comodidad, entendido como la necesidad de sentirse bien y estar seguro de que su supervivencia no corre peligro alguno, y una emoción positiva que deje paso a la actividad de la parte pensante. Digamos, por seguir un ejemplo, que: por un lado, su complejo Reptiliano estará en alerta absoluta en una clase de matemáticas incómoda y llena de tensión –estará siempre a la expectativa para el ataque o la huída–, sin dejar paso a ese cerebro reflexivo; y, por otro lado, las emociones recogidas en el sistema Límbico cerrarán, del mismo modo, el paso a las funciones cognoscitivas.

Enseñar bien en los primeros años de vida. El cerebro expresa un dominio de desarrollo de cero a seis años que no se repetirá con el mismo esplendor a lo largo de nuestra vida. Si a esto añadimos el deseo hiperactivo por descubrir y el enorme potencial de vida activa y afectiva que se puede desplegar, la capacidad de aprendizaje a esas edades es incalculable. Esa capacidad de aprendizaje debe estar íntimamente unida a una gran capacidad de enseñanza. Incorporar a la mente del niño un conjunto de términos y representaciones incomprensibles perjudica su acción formativa, pero la disminución de contenido que pueda comprenderse perjudica al desarrollo; tanto error se comete cuando intentamos que un niño aprenda algo que supera su comprensión, como cuando disminuimos la cantidad de conocimiento y facilitamos el esfuerzo intelectual al que un niño hubiera podido llegar.

Los comienzos de un aprendizaje son fundamentales. Ante las situaciones novedosas el cerebro suele responder con un alto grado de motivación e interés: los comienzos de una etapa escolar, la iniciación de un tema, los primeros pasos de una asignatura, la utilización de un recurso o material,… La pedagogía empleada en estos comienzos es una variable que incide en el aspecto motivacional de la posición de partida, puede: aumentarla, mantenerla o disminuirla. El cerebro guarda en la memoria con extrema fijación los sentimientos generados por la emoción recibida. A partir de ese momento el cerebro toma decisión de aceptación o rechazo al tema o experiencia iniciada, repercutiendo considerablemente en los posteriores aprendizajes que se puedan relacionar con los tratados.

[6] Parece ser que sí hay generación de nuevas neuronas, sobre todo en el hipocampo. Aunque Rodolfo Llinás (2003), argumenta que "Definitivamente, el cerebro se deteriora con el tiempo por lo que nunca seremos tan inteligentes como fuimos cuando éramos jóvenes"

Cuando el cerebro aprende algo por primera vez hay una actividad intensa en la corteza cerebral. Esta actividad va disminuyendo con la práctica en la medida en que se va consolidando lo que se está aprendiendo. Contrariamente a lo que se puede pensar, según vamos profundizando en ese aprendizaje, y cada vez que lo utilizamos, el cerebro está menos activo consumiendo también menos energía. Los comienzos son fundamentales.

Optimizar la actividad cerebral. Habría que estudiar qué es lo mínimo necesario que, sobre un tema en cuestión y en función de la edad, debe ofrecerse al alumno a partir de lo cual la actividad cerebral de éste podría descubrir lo que falta: ¿qué ves?, ¿qué se te ocurre a ti?, ¿qué pasaría si…? Economizar las informaciones que se dan para ampliar la posibilidad de establecer relaciones, generar ideas y expresar pensamientos. No se trata de 'utilizar el cerebro', sino de 'optimizar la actividad cerebral' llevándola a la máxima posibilidad de desarrollo. No tiene sentido corregir con bien o mal los resultados obtenidos en cada implicación del pensamiento, sino conducir desde esos resultados, a partir de ejemplos y contraejemplos, para que el alumno sea consciente de su acierto o de su error. Para ello, habrá que poner a su disposición fiables mecanismos de autocorrección, tanto por el estudio y la comprensión de propiedades y relaciones matemáticas, como por la correcta utilización de razonamientos lógicos. La optimización de la actividad cerebral está en relación directa con la optimización de contenidos para obtener conocimientos. Si por contenido entendemos lo que se enseña, y, por conocimiento, lo que se aprende, hemos observado que actualmente se da mucho contenido y se produce poco conocimiento. Es de vital importancia preguntarse: ¿a qué es debido?, porque eso ni facilita optimización cerebral alguna, ni desarrolla cualquier competencia.

Un cerebro 'encendido' y 'conectado'. Decir a estas alturas que el cerebro es un órgano al que tenemos que prestar suma atención y mantenerlo en perfectas condiciones puede resultar: por su obviedad, ocioso; y, por su evidencia, un comentario tautológico. Pero no es de extrañar que, precisamente por su obviedad y evidencia, las acciones que representan estos comentarios pasen a menudo inadvertidas. Por eso me atreveré a decir que hay que mantenerlo 'encendido' el mayor tiempo posible y perfectamente 'conectado'. Se puede considerar que un cerebro está 'encendido' cuando está activo. Por perfectamente 'conectado' entiendo la necesidad, entre otros factores biológicos, de tener un buen riego sanguíneo y un nivel óptimo de oxigenación. Hay que cuidar el cuerpo al que está conectado ese cerebro; buena alimentación, ejercicio físico y dormir suficientemente son exigencias básicas.

¿Y esto para qué sirve? No vamos a tocar solo los aspectos educativos referidos al que enseña, y –partiendo necesariamente de que la enseñanza se preocupará de la comprensión y correcto entendimiento de lo estudiado– anotaremos una idea, a mi juicio fundamental, a tener en cuenta desde el punto de vista del que aprende. "¿Y esto para qué sirve?", nos dicen nuestros alumnos mientras trabajan con: las operaciones matemáticas, las fracciones, las inecuaciones, las integrales,... Pues bien, todo aprendizaje requiere de un esfuerzo intelectual y, por tanto, desarrolla el cerebro. Lo que se aprende comprendiendo sirve, tanto para entender aplicaciones prácticas en el mundo físico, como para desarrollar el mundo interior y el propio cerebro, recordando datos, propiedades y relaciones, o generando estructuras que permitan un crecimiento intelectual capaz de comprender nuevos conceptos; así que, quizás sirvan también los conocimientos, entre otras cosas, para practicar el pensamiento durante el proceso de su adquisición. ¿Por qué se valida frecuentemente la importancia de un conocimiento solo por su aplicación al mundo exterior?

3.2. Apuntes sobre la enseñanza, para el aprendizaje

Lo que hace falta es escuchar. Todos los niños tienen la misma necesidad de aprender matemáticas. ¿Es tarea escolar, atendiendo a los nuevos hallazgos, adjudicar efectos que cubran necesidades, o, seguir imponiendo la tradicional obsesión de clasificar las capacidades? Si ya se sabe que el cerebro humano es capaz de comprender ciertas relaciones y conceptos por las facultades intelectuales, ¿qué explicación se aporta cuando la Educación[7] no encuentra los procesos necesarios para adquirir los conocimientos básicos? ¿En qué apoyamos el avance educativo de la enseñanza de la matemática cuando los niños siguen cometiendo año tras año los mismos errores: que si se olvidan de los ceros intercalados, que si desarrollan mal la propiedad distributiva, que si no resuelven una sencilla situación problemática;…?

Por naturaleza humana todo sujeto quiere aprender; el cerebro es un órgano incansable en la búsqueda de respuestas. Sin embargo, se dice que existen niños que 'no quieren aprender'; pero como esto es en sí mismo contradictorio, ¿no estaremos obligados educativamente a abrir investigaciones para buscar las razones por la que esa contrariedad humana se pone de manifiesto? Y si sobre ello ya existieran investigaciones con resultados concluyentes, ¿por qué la escuela no los incorpora?

Muchas veces clasificamos a los niños en 'listos' y 'no tan listos'. Existen numerosos ejemplos que muestran como esa clasificación escolar no se ha correspondido con la realidad de la vida. Habitualmente, la escuela suele considerar 'listo' al niño que capta rápido lo que el profesor 'dice y como lo dice', a diferencia del que le cuesta captar; así, la fórmula aplicada más tradicional, y aún vigente en nuestros días, para determinar la puntuación de la inteligencia escolar[8] (Ie) está en función de la cantidad de información captada y el tiempo empleado (Ie = Información / tiempo). Creer todavía hoy que el cerebro de los niños debe establecer las mismas relaciones que generan la misma estrategia que dura el mismo tiempo para encontrar el mismo camino que el profesor encontró, no solo anula todo acto creativo y demuestra la ignorancia sobre las posibilidades del que aprende, sino que puede considerarse como una falta de respeto a la misma actividad cerebral. Podríamos aportar el simple dato de que el cerebro humano cuenta con aproximadamente 1.000 billones de sinapsis. Cada neurona tiene un promedio de entre 1.000 y 10.000 sinapsis o ligas con neuronas adyacentes. Para hacernos una ligera idea de la amplitud que estamos contemplando, comparemos números: "Jesús y sus apóstoles hacían un número de 13. Si el día de la última cena se hubieran dedicado a colocarse alrededor de la mesa de todas las formas posibles, aún hoy –salvando algunas consideraciones obvias de la naturaleza humana–, después de tantos siglos, estarían colocándose".

La enseñanza tiene que nacer escuchando y vivir escuchando; preguntarse: por qué los niños dicen lo que dicen; por qué los niños hacen lo que hacen. No conozco otro modo de conseguir que horizontes nuevos se abran, que nuevas tareas se presenten, que nuevos niveles de conocimiento e intuición se

---

[7] Cuando hablo de Educación no me refiero solo a los profesores, sino también, y con mayor preocupación, a los padres, a los gobiernos, a las instituciones con competencia en materia educativa que siguen diseñando una formación inicial con planes de estudios arcaicos (con Bolonia o sin Bolonia) para enfrentarse a las necesidades actuales; y parece que más les preocupe idear estrategias disfrazando datos estadísticos, que invertir en nuestro futuro produciendo sano aprendizaje.

[8] Llamaré inteligencia escolar a la inteligencia que la persona o institución responsable de la enseñanza de un individuo considera para ese individuo. Cuando la inteligencia escolar no se corresponda con la/s inteligencia/s real/es, habrá que buscar las causas que desajustan estos resultados.

concreten, para conquistar hazañas de acontecimientos educativos más grandes que el justificado tamaño ordinario.

- Que las respuestas que obtenemos no coincidan con las que esperamos implica, simplemente, discrepancia entre la enseñanza y el aprendizaje; y, no significa en modo alguno que el niño no razone.
- El niño nunca responde por azar, si no ha sido intimidado.
- El niño nunca quiere fallar o hacerlo mal, si no ha sido irritado.
- Ni existe, ni existirá método alguno de enseñanza superior a la capacidad de aprendizaje de la mente humana.

Más allá del término está su significado (Rebollo y Rodríguez, 2006) y, por tanto, el prejuicio de su diagnóstico: cuándo podemos hablar, o no, de dificultades en el aprendizaje de la Matemática. Son muchos los investigadores y estudiosos del tema los que agregan un problema importante y frecuente en su diagnóstico: la enseñanza inadecuada. "Pues tanto los maestros como los alumnos, y en última instancia la sociedad entera, son víctimas de un sistema de enseñanza". (García Márquez, 1995).

Si a un alumno se le dice 'así se suma', 'así se multiplica', 'así…', se está grabando en su cerebro que no se puede sumar o multiplicar de otra manera. Se limita considerablemente, con esta forma de proceder, el desarrollo de la intuición, la observación, el razonamiento y las posibles combinaciones creativas que podría realizar. Más aún, cuando el que enseña decide darle al que aprende 'el resultado' de lo que su cerebro ha ido construyendo, priva al otro cerebro de construirlo por sí mismo. Cuando nos dicen, por ejemplo, como se resuelve una ecuación o lo que es un rectángulo, el cerebro recoge la 'palabra escuchada' pero no puede recoger los mecanismos intelectuales que han permitido al que habla generar el concepto de rectángulo o ecuación. "Es lamentable el tipo de educación que reciben los niños en el ámbito escolar, en donde se hace demasiado énfasis en los conceptos abstractos y la memorización rutinaria de tablas y algoritmos numéricos. Se estanca el desarrollo del substrato numérico instintivo y con ello se derrumba el soporte intuitivo para la adquisición de los nuevos conceptos en un proceso dinámico, complejo y estimulante. Esto trae consigo la pérdida de motivación por parte del niño al hacerse más difícil y tediosa la memorización de los conocimientos. A partir de aquí el fracaso en el aprendizaje de las matemáticas está asegurado." (Dehaene, 1997).

¿Y, si hay niños 'diferentes'? La educación estará atenta a las variables estudiadas en los resultados de las investigaciones científicas que constatan esas diferencias, y –teniendo en cuenta la igualdad de oportunidades– no podrá perder de vista la desigualdad de interacciones con la realidad física para generar procesos que den lugar a esas mismas oportunidades. La educación no acaba cuando se decide que un alumno no conseguirá los objetivos que ésta ha propuesto para él, sino cuando se encuentran los mecanismos necesarios para que él consiga los objetivos que la educación se ha propuesto. Por eso es de vital importancia medir correctamente los objetivos; tanto error se comete cuando a alguien se le exige más de lo que puede hacer, como cuando se le deja de exigir aquello que podría alcanzar.

4. "¿Qué hay de nuevo?" A modo de conclusión

La modernidad pedagógica está en función directa de los resultados que se obtienen en el aprendizaje, y no puede medirse por la novedad de las técnicas y recursos empleados. Sin desestimar la importancia que éstos pueden tener, no podemos confundir los medios que se utilizan con los fines que se persiguen. Actualizarse no consiste en imitar procedimientos que están de moda, sino en conseguir, en tiempo real y con los niños actuales, los objetivos dirigidos a la adquisición del conocimiento y el desarrollo personal. No se trata solo de que el maestro y el pedagogo sepan decir, sino de que sepan hacer lo que saben decir. ¿Qué hay de nuevo?; ¿qué provoca esfuerzos necesarios y evita los innecesarios?, ¿qué permite distinguir ambos esfuerzos claramente y evolucionar, tanto proponiendo, como eliminando?

Las investigaciones neurocientíficas nos dicen que cuanto más se repite una acción, más se aumenta la capacidad de recordar. Tendremos que reflexionar sobre las acciones que se realizan en la escuela para el aprendizaje de las matemáticas. Hacer una lista, profundizar en su estudio, ver que frecuencia tienen las acciones que deberían aparecer y las que no deberían estar, y concluir honestamente respecto al análisis de los datos obtenidos. La idea del mundo que puede sacar un alumno, con los métodos de enseñanza que se presentan en la actualidad, es que todo está descubierto y funciona en torno a las reglas del profesor. El cerebro del niño aprenderá muchas cosas, pero entre todas ellas predominará, con altísima frecuencia, el siguiente aprendizaje: 'Cuando me pregunten por lo que veo no tengo que decir lo que veo, sino lo que el profesor quiere que vea.'

Los contenidos se presentan como estados terminados, situaciones finalizadas y fenómenos invariables. Esto es un problema para el que aprende, porque piensa que todo es así. Por el contrario, todo está en continuo proceso de evolución; en un estado inacabado. Los sistemas educativos, que tanto hablan de 'relación con el entorno' y 'globalización', aún no han entendido la dimensión de estas expresiones. Se siguen utilizando los libros, el ordenador, la pizarra digital y… para mostrarles a los estudiantes como son las cosas, marcando profundo interés por obtener respuestas memorizando lo que allí pone. Y ahí se acaba, cuando también deberíamos utilizarlos para marcar profundo interés en hacerse preguntas sobre lo que allí no está porque aún no ha sido encontrado, y prepararles intelectual, cultural, espiritual y emocionalmente para que algún día ellos puedan conquistarlo. Si bello es lo que está escrito, más bello es lo que aún falta por escribir. Educar es permitir que el otro encuentre la belleza. ¡Qué belleza!: enseñar a ver lo que aún no está descubierto, y preparar para que algún día ellos puedan despejar dudas, manifestar propuestas, desenmascarar errores, desenvolver secretos y descifrar enigmas. "*Las maravillas descubiertas están en un segundo plano con respecto a aquellas que esperan ser descubiertas. (…) Vivimos todavía en la infancia de la humanidad. Pero ¡qué regocijo! ¡Qué desafío! No es sorprendente que el saludo entre los entusiasmados investigadores de lo desconocido a menudo no es "hola" ni "cómo está", sino "¿qué hay de nuevo?*" (Bersanelli y Gargantini, 2006)

> "Cien veces todos los días me recuerdo a mí mismo que mi vida interior y exterior, depende de los trabajos de otros hombres, vivos y muertos, y que yo debo esforzarme a fin de dar en la misma medida en que he recibido." Albert Einstein

Bibliografía

ALCÁZAR, E. (2002): Hablando de mente y cerebro. Psiquiatría, neurociencia y psicoanálisis: convergencia e integración. Vita: Academia Biomédica Digital.

ALONSO, D. Y FUENTES, L. J. (2001): "Mecanismos cerebrales del pensamiento matemático". Revista de Neurología. 33, 568-576

ARBID, M. A. (1982): Cerebros, máquinas y matemáticas. Madrid. Alianza Universidad.

BERSANELLI, M. y GARGANTINI, M. (2006): Solo el asombro conoce. La aventura de la investigación científica. Madrid. Ediciones Encuentro.

BUTTERWORTH, B. (1999): The mathematical brain. Londres. MacMillan.

DEHAENE, S. (1997): The Number Sense: How the Mind Creates Mathematics. Oxford. Oxford University Press.

DEHAENE, S.; BOSSINI, S. y GIRAUX, P. (1993): "The mental representation of parity and numerical magnitude". *Journal of Experimental Psychology:* General; 122: 371-96.

GARCÍA MARQUEZ, G. (1995): "Un manual para ser niño". Separata tomada del tomo 2 de la colección Documentos de la misión Ciencia, Educación y Desarrollo: Educación para el Desarrollo (pp. 115 y ss) Santafé de Bogotá (Colombia). Consejería para el desarrollo institucional.

GAROFALO, J. (1989): "Beliefs and Their Influence on Mathematical Performance." Mathematic Teacher 82 (7), 502-505.

HODGKIN, L. y HUXLEY, A.F. (1952): "A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve" The Journal of Physiology 117, 500-544.

IMMORDINO-YANG, M. H. y DAMASIO, A. (2007): "We Feel, Therefore We Learn: The Relevance of Affective and Social Neuroscience to Education". Mind, Brain, Education 1 (1), 3–10.

LASKI, E. V. y SIEGLER, R. S. (2007): "Is 27 a Big Number? Correlational and Causal Connections Among Numerical Categorization, Number Line Estimation, and Numerical Magnitude Comparison". Child Development *78*:6, 1723–1743

LLINÁS, R. (2003): El cerebro y el mito del yo. El papel de las neuronas en el pensamiento y el comportamiento humanos. S.A. Bogotá. Grupo Editorial Norma.

MCNAB, F.; VARRONE, A.; FARDE, L.; JUCAITE, A.; BYSTRITSKY, P.; FORSSBERG, H. (2009): "Changes in Cortical Dopamine D1 Receptor Binding Associated with Cognitive Training" Science 323 (5915):800-802

MARTINEZ, J. y ARGIBAY P. (2007): "El aprendizaje de las matemáticas y el cerebro". Ciencia Hoy, vol 17, núm 99, 46-51

MOYER, R. S. y LANDAUER, T. K. (1967): "Time required for judgements of numerical inequality". Nature 215: 1519-20.

REBOLLO, M. A. y RODRÍGUEZ, A. L. (2006): "Dificultades en el aprendizaje de las matemáticas". Revista de Neurología 42 (Supl 2), S135-8

SARAMAGO, J. (2000): El cuento de la isla desconocida. Santiago de Chile. Editorial Cuarto Propio.

SIEGLER, R. S. y BOOTH, J. L. (2004): "Development of Numerical Estimation in Young Children" Child Development, Volume 75, 2, 428-444

SIEGLER, R. S. y OPFER, J. E. (2003) "The development of numerical estimation: evidence for multiple representations of numerical quantity". Psychological Science 14 (3), 237–243

SPELKE, E. S. (2000): "Large number discrimination in 6-month-old infants". Cognition 74:1-11

THOMPSON, A. G. (1992): "Teacher' beliefs and conceptions: a synthesis of the Research". En: Handbook for Research in Mathematics Teaching and Learning. New York. MacMillan-NCTM