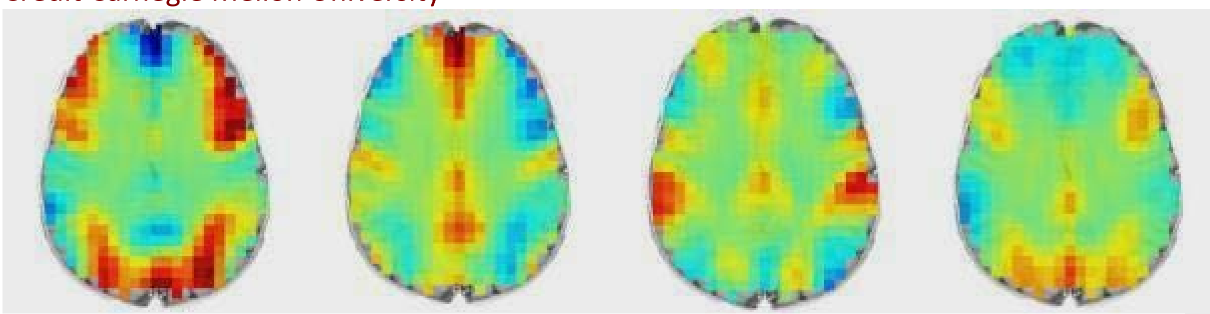
Matemáticas y Neurociencia

Cómo se ve nuestro cerebro cuando resuelve un problema de matemáticas

Imágenes de una resonancia magnética que muestran la actividad cerebral durante cuatro etapas distintas de la resolución de problemas.

Credit Carnegie Mellon University



Codificación ***Planeación*** ***Resolución*** ***Respuesta***

Es posible que resolver un complejo problema de matemáticas nos provoque una vibración de alegría en la columna vertebral. Sin embargo, históricamente los científicos han batallado para descifrar la alquimia mental que sucede cuando el cerebro logra el brinco exitoso desde el "¿Qué?" hasta que exclamamos "¡Ah, ya sé!".

Ahora, ***empleando una innovadora combinación de análisis con imágenes del cerebro, los científicos han captado cuatro etapas del pensamiento creativo aplicado a las matemáticas.***

En un artículo publicado en ***Psychological Science***, un equipo encabezado por John R. Anderson, un profesor de psicología y ciencias computacionales de la Universidad Carnegie Mellon***, mostró un método que reconstruye cómo el cerebro pasa de entender un problema a resolverlo, incluyendo el tiempo que le dedica a cada etapa.***

El análisis de las imágenes de resonancia magnética detectó cuatro etapas:

- ***codificación (descarga),***
- ***planeación (estrategia),***
- ***resolución (hacer las cuentas) y***
- ***respuesta (escribir el resultado).***

"Estoy muy contento con la forma en que funcionó el estudio, y creo que su precisión marca el límite de lo que podemos hacer", con las herramientas disponibles para captar imágenes del cerebro, dijo Anderson, quien escribió el artículo junto con Aryn A. Pyke y Jon M. Fincham, ambos también de Carnegie Mellon.

Para captar esas operaciones mentales rápidas, el equipo tuvo que enseñarle a 80 hombres y mujeres cómo interpretar un conjunto de símbolos matemáticos y ecuaciones que no habían visto antes. Las operaciones matemáticas no eran difíciles (básicamente consistían en sumas y restas) pero manipular los símbolos que se acababan de aprender requería cierta dosis de procesos de pensamiento.

El equipo investigador podía modificar los problemas para aumentar la dificultad en etapas específicas, por ejemplo, algunos eran difíciles de codificar, mientras que en otros la duración de la fase de planeación era más larga.

Los científicos usaron dos técnicas de análisis de datos provenientes de las imágenes por resonancia magnética para identificar qué estaban haciendo los cerebros de los participantes.

● ***Una seguía los patrones de disparo neuronal durante la resolución de cada problema;***

● ***la otra identificaba cambios significativos de un tipo de estado mental a otro.***

Cada uno de los sujetos del estudio resolvió 88 problemas y el equipo solo analizó los datos de los que se resolvieron correctamente.

Los análisis encontraron cuatro etapas distintas cuya duración variaba, dependiendo del problema, en uno o más segundos. Por ejemplo, la planeación duraba más que las otras etapas cuando se requería un ingenioso proceso de resolución. Los expertos creen que esas fases no solo son aplicables a las matemáticas, sino que también pueden utilizarse en la resolución de muchos problemas creativos.

Sin embargo, el artículo sugiere que conocer cómo reacciona el cerebro puede ayudar a diseñar los programas de estudios, en particular de matemáticas.

“No sabemos qué es lo que los estudiantes hacen cuando solucionaban los problemas”, dijo Anderson, cuyo laboratorio diseña software para la enseñanza de las matemáticas.

“Tener una comprensión más clara de eso nos ayudará a desarrollar mejores formas de enseñar. Creo que ese es el primer lugar donde nuestro trabajo tendrá impacto”.

Por BENEDICT CAREY

5 de agosto de 2016

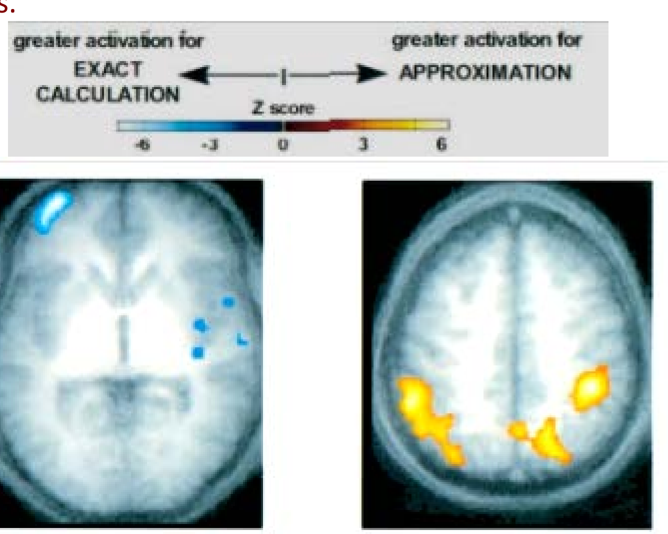
http://www.nytimes.com/es/2016/08/05/como-se-ve-nuestro-cerebro-cuando-resuelve-un-problema-de-matematicas/
http://www.psychologicalscience.org/

Matemáticas y Neurociencia

En 1992, Karen Wynn realizó una serie de experimentos con bebés de cinco meses[1]. En uno de ellos, enseñó a los bebés un juguete que escondía tras una pantalla. A continuación, los bebés observaban cómo escondía un segundo juguete en el mismo lugar. Al cabo de unos segundos la investigadora apartaba la pantalla y cronometraba el tiempo que los bebés miraban. Observó que si al retirar la pantalla aparecía un juguete (resultado no posible, 1+1=1) los bebés miraban durante un período de tiempo mayor que cuando aparecían dos juguetes (resultado lógico 1+1=2). Este tipo de experimentos, que se han repetido en numerosas ocasiones, sugieren que los bebés poseen una capacidad innata para el procesamiento numérico. ¿Aprovecha la educación este sentido innato del cerebro para fomentar un aprendizaje adecuado de las matemáticas? En el siguiente artículo analizamos algunos estudios que, utilizando las técnicas modernas de visualización cerebral, nos permiten observar las regiones más activas en la resolución de problemas matemáticos, principalmente numéricos. A continuación, reflexionamos sobre algunos factores críticos en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas.

El cerebro matemático

Diversos experimentos muestran una gran activación de los lóbulos frontal y parietal en la resolución de problemas. Stanislas Dehaene y sus colaboradores enseñaron una serie de cálculos a voluntarios bilingües en uno de sus idiomas[2]. Tras el entrenamiento, se les pedía que resolvieran ese tipo de cálculos de forma exacta o aproximada en las dos lenguas. Los investigadores observaron que la resolución de problemas exactos era más rápida en la lengua que utilizaron al aprender los cálculos, aunque utilizaran más la otra lengua en la vida cotidiana. Sin embargo, en los cálculos aproximados (se les pedía a los voluntarios que hicieran estimaciones) no se apreciaban diferencias significativas. En los cálculos exactos se observaba una mayor activación en las áreas del cerebro involucradas en el lenguaje, mientras que en los cálculos aproximados se activaba más el lóbulo parietal de los dos hemisferios.



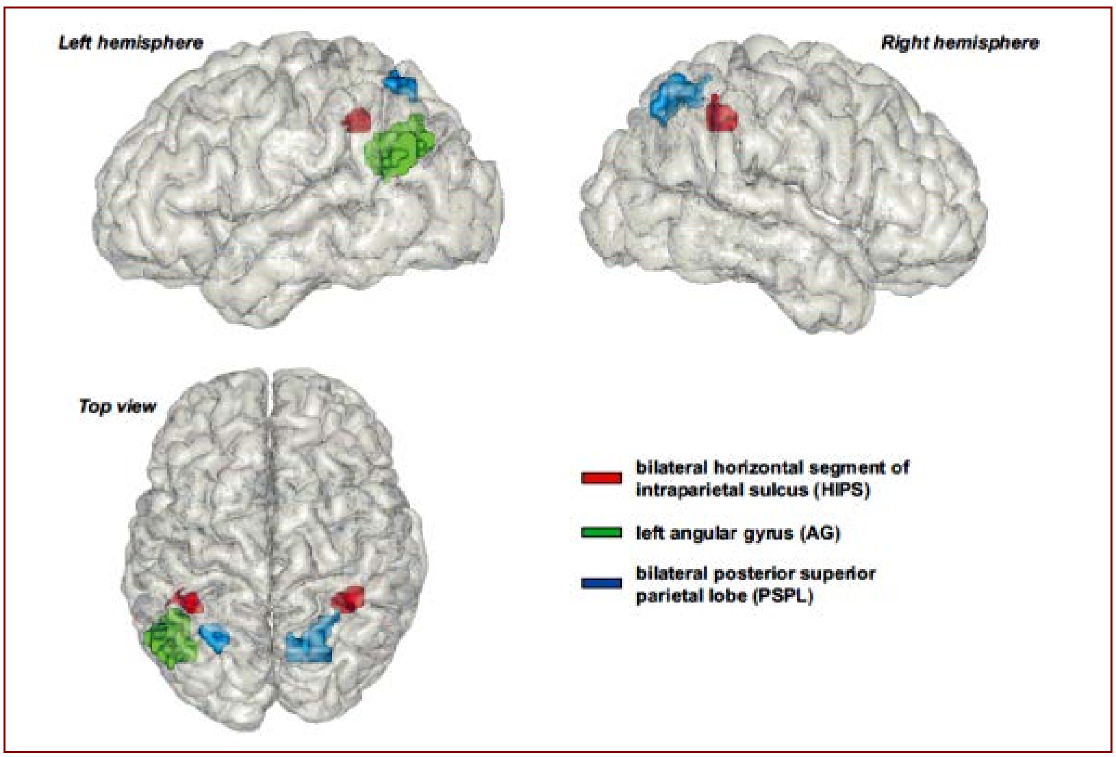
En las imágenes, se muestra en azul las regiones activadas en el cálculo exacto y en amarillo las zonas activadas en el cálculo aproximado. Se observa un predominio de la activación de la corteza prefrontal izquierda (azul) y de la parte derecha del lóbulo parietal (amarillo).2

Análisis posteriores sugieren que la información numérica puede ser procesada en el cerebro mediante tres sistemas diferentes, cada uno de ellos asociado con tres regiones del lóbulo parietal[3]:

1. Sistema verbal en el que los números se representan mediante palabras. Por ejemplo, cuarenta y tres. Se activa el giro angular izquierdo que interviene en los cálculos exactos.

2. Sistema visual en el que los números se representan según una asociación de números arábigos conocidos. Por ejemplo, 43. Se activa un sistema superior posterior parietal relacionado con la atención.

3. Sistema cuantitativo no verbal en el que podemos establecer los valores de los números. Por ejemplo, entendemos el significado del número cuarenta y tres generado por cuatro decenas y tres unidades. En este sistema participa la región más activa e importante en la resolución de problemas numéricos, el segmento horizontal del surco intraparietal (HIPS). Su activación aumenta más cuando se hace una estimación de un resultado aproximado que no cuando realizamos un cálculo exacto. En la aproximación, aunque se activan los dos hemisferios cerebrales, existe una cierta preferencia por el derecho.



Representación tridimensional de las tres regiones del lóbulo parietal que intervienen en los procesamientos numéricos (en verde el giro angular izquierdo y en rojo el surco intraparietal)3 El lóbulo parietal es muy importante en la vida cotidiana porque facilita la representación espacial.

Analicemos alguna operación concreta. En las multiplicaciones (sabemos que los niños aprenden de memoria las tablas de multiplicar) se activa el giro angular izquierdo que pertenece al sistema verbal, es decir, son codificadas verbalmente. Sin embargo, al hacer comparaciones o estimaciones se activa el surco intraparietal porque no necesitamos convertir los números en palabras, es decir, son independientes del lenguaje. El hemisferio izquierdo calcula (recordemos que en la mayoría de personas, al ser diestras, el lenguaje reside en el hemisferio izquierdo) mientras que el hemisferio derecho hace estimaciones.

En relación a la función que desempeña el lóbulo parietal en la representación espacial, hemos escuchado a matemáticos explicar la utilización de imágenes mentales en la resolución repentina de problemas. Esto guarda relación directa con el concepto de "insight" (ver artículo anterior /insight/) que hace referencia a la capacidad de comprender la estructura interna de un problema que, muchas veces, aparece de forma imprevisible. La comprensión de los mecanismos inconscientes que facilitan este tipo de resoluciones tendrá enormes implicaciones en la forma de enseñar, aunque lo que ya conocemos es que para que se produzca el "insight" se requiere un estado de relajación cerebral. Una razón más para facilitar los estados exentos de estrés en los entornos educativos.

Algunos factores críticos en la enseñanza de las matemáticas

1. Creencias previas y factores emocionales

Comentarios típicos como "nunca entendí las matemáticas" o "no se me dan bien las matemáticas" se han asentado, progresivamente, en la mente de muchos alumnos y recalcan la importancia que tienen las creencias previas y la inteligencia emocional en el aprendizaje.
Fomentar un clima educativo que favorezca las emociones positivas (facilitando factores como el optimismo o la resiliencia), en detrimento de las negativas, es tan importante o más que la aportación de contenidos puramente académicos.

La pedagogía utilizada en la fase inicial del aprendizaje de las matemáticas incide directamente en la motivación del alumno. El rechazo inicial provocado en muchos niños guarda una relación directa, en numerosas ocasiones, con una enseñanza basada en infinidad de cálculos mecánicos que coartan el proceso intelectual creativo del alumno y en una representación de la terminología incomprensible para él.

Ejemplo: Consideremos la resta 8 – 3 = 5. Los adultos podemos asimilar esa situación a una gran variedad de casos prácticos, por ejemplo, si en un recorrido de ocho kilómetros hemos caminado tres nos faltarán otros cinco; si una temperatura inicial de ocho grados desciende tres, la temperatura final será de cinco grados,…El día que se introducen los números negativos y el profesor escribe 3 – 8 = -5, el niño puede tener dificultades para entender el significado del cálculo. En este caso, la temperatura le puede aportar una imagen intuitiva más eficaz que la distancia (- 5 grados facilita el aprendizaje del concepto, en lugar de -5 kilómetros).

2. El papel del profesor

Ya hemos comentado que diferentes estudios parecen demostrar que los seres humanos nacemos con un sentido numérico innato. Según Dehaene[4] y Butterworth[5], dos de los grandes expertos mundiales en el estudio de las matemáticas y el cerebro, la escuela obstaculiza este desarrollo facilitado, inicialmente, por factores genéticos. Dehaene cree que la construcción de los conceptos abstractos ha de iniciarse con la formulación de ejemplos concretos, con la finalidad de estimular el desarrollo del razonamiento intuitivo del niño. Además, la interacción con la mente del alumno requiere la manipulación de materiales y actividades lúdicas.
Ejemplo: La utilización de algunos juegos de mesa puede ser de gran utilidad. En concreto, se ha demostrado que el aprendizaje del ajedrez puede mejorar el cálculo mental, el razonamiento intuitivo, la memoria, la capacidad de abstracción o la concentración.

La recomendación de facilitar el desarrollo intuitivo guarda relación directa con el concepto del "insight" en el que la intuición y los mecanismos de resolución inconscientes desempeñan un papel fundamental (ver artículo anterior, educacion-del-inconsciente). El excesivo énfasis en conceptos abstractos, sin utilidad práctica aparente, y la memorización rutinaria de algoritmos perjudica la evolución y motivación del alumno.

Ejemplo: Si pedimos a niños de seis y diez años de edad que nos calculen la sencilla operación 6 + 4 – 4 podemos comprobar que, a menudo, los niños de seis años responden 6 sin necesidad de realizar cálculo alguno. Sin embargo los niños de diez años, que son más expertos, pueden realizar el cálculo en su hoja (6 + 4 = 10 y luego 10 – 4 = 6).

Por otra parte, los docentes hemos de intentar presentar contenidos abiertos que faciliten el establecimiento de relaciones y la generación de ideas; así como guiar el proceso de evolución del alumno poniendo a su disposición mecanismos de autocorrección que les permitan ser conscientes de sus razonamientos acertados o no. "¿Qué piensas sobre…?" Los docentes deberíamos facilitar procesos de resolución alternativos que fomenten los razonamientos creativos.

"¿Y esto para qué sirve? " Uno de los grandes problemas de la enseñanza de las matemáticas (podemos generalizar a todas las materias) está asociado a la impartición de contenidos académicos exentos de toda utilidad y aplicación práctica.

Ejemplo: La aceleración de un coche se puede entender como la derivada o variación de una magnitud conocida como la velocidad respecto a otra magnitud que es el tiempo. La aceleración puede ser positiva cuando se da un aumento de la velocidad, negativa si la velocidad disminuye o nula si la velocidad es constante, es decir, no varía. Un ejemplo cercano como este nos puede servir para introducir el apartado de las derivadas de funciones, en lugar de comenzar con una serie de reglas mecánicas que el alumno puede entender como arbitrarias.

Una simple explicación puede facilitar el proceso de atención. Además, sabemos que el funcionamiento de la memoria de trabajo está limitada por la atención que prestamos a los objetos.

Ejemplo**:** En dos ecuaciones formalmente idénticas como las siguientes, en la segunda se cometen más errores porque aumenta la carga de la memoria de trabajo en las fracciones[6]:

$$x + 6 = 9 \rightarrow x = 9 + 6$$

$$x + 6/5 = 9/4 \rightarrow x = 9/4 + 6/5$$

Un ejemplo que demuestra la importancia del análisis de los errores cometidos.

Conclusiones finales

Hemos constatado que la localización del conocimiento matemático en el cerebro es complicada porque incluye diferentes circuitos que pueden actuar de forma parcialmente autónoma. Lo cierto es que los diferentes campos de estudio de las matemáticas requieren enfoques dependientes. Por ejemplo, existe una conexión entre aritmética y geometría (pensemos en la visualización espacial de los números utilizados en las operaciones aritméticas básicas). La utilización de diferentes áreas cerebrales en el proceso de aprendizaje diversifica las estrategias pedagógicas aunque, a pesar de la dificultad, lo que parece claro es que el proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas cambiará y deberá considerar la base empírica que aportan las investigaciones en neurociencia. La multimodalidad propuesta por Gallese y Lakoff [7] representa una nueva concepción del pensamiento que puede acaparar en el futuro un gran protagonismo. Según esta propuesta, el conocimiento matemático (o cualquier otro) está ligado a nuestro sistema sensoriomotor, por lo que no sólo pensamos con la ayuda del lenguaje y de los símbolos sino también a través de los sentidos, es decir, las impresiones sensoriales constituyen el carácter multimodal de los conceptos. Según esta propuesta, la enseñanza tradicional del lápiz y papel no permite una conexión duradera con la experiencia sensorial vivida por los alumnos en los primeros años escolares.

El gran problema con el que nos encontramos los docentes es que los investigadores realizan sus experimentos con una metodología diferente a la utilizada en el entorno académico, lo que dificulta su aplicación en el aula. Ahora bien, en algunos casos, tenemos a nuestra disposición importantes recursos educativos.

Un caso concreto es el de la **discalculia**, que podemos encontrar en niños motivados e inteligentes pero que seguramente padecen alguna anomalía cerebral, normalmente en la región izquierda del lóbulo parietal. El estudio de estas personas demuestra la existencia de problemas, dejando aparte los aritméticos, relacionados con la orientación espacial, el control de sus propias acciones y sobre la representación de su cuerpo, especialmente de los dedos. Esto nos recuerda la forma de contar con los dedos de los niños, el control de los mismos y los gestos que hacen que conllevan determinadas posiciones corporales. Si la representación de los dedos no llega a desarrollarse normalmente, se pueden originar dificultades en el desarrollo de las habilidades numéricas. La detección de estas anomalías nos permite aplicar mecanismos compensatorios que faciliten una comprensión de las operaciones básicas o de las reglas explícitas más lenta pero segura. Pero para ello, hemos de asumir que la inteligencia no es un concepto unitario y que el aprendizaje en cada alumno es diferente. Sea como fuere, seguimos buscando recursos para diseñar la práctica docente con soportes empíricos y los principios neurobiológicos de la función cerebral guiarán el futuro.

Jesús C. Guillén. 20 marzo, 2012

[1] Wynn, K. "Addition and subtraction by human infants". Nature, 358, 1992.
[2] Dehaene S, Spelke E, Pinel P, Stanescu R, Tsivikin S. "Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence". Science 284, 1999.
[3] Dehaene S, Piazza M, Pinel P, Cohen L."Three parietal circuits for number processing". Cognitive Neuropsychology 20, 2003.
[4] Dehaene, S. *The number sense. how the mind create mathematics.* Oxford University Press, 1997.
[5] Butterworth, B. *The mathematical brain.* MacMillan, 1999.
[6] Radford L, André M, "Cerebro, cognición y matemáticas", Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa 12, 2009.
[7] Gallese V, Lakoff G. "The brain's concepts: the role of the sensory-motor system in conceptual knowledge". Cognitive Neuropsychology 22, 2005.
Para saber más:

Blakemore S., Frith U. *Cómo aprende el cerebro: las claves para la educación.* Ariel, 2011
Alonso D., Fuentes L. "Mecanismos cerebrales del pensamiento matemático". Revista de Neurología 33, 2001.

Ballestra M, Martínez J, Argibay P. "Matemáticas y cerebro". Revista del Hospital Italiano de Buenos Aires 26, 2006.

Fernández J. "Neurociencia y enseñanza de la matemática", Revista Iberoamericana de Educación 51, 2010.

https://escuelaconcerebro.wordpress.com/2012/03/20/matematicas-y-neurociencia/