Comprender: propuesta de pivotes

SANTIAGO ALONSO

Resumen

La pregunta básica es qué se necesita para comprender. La propuesta es que comprender necesita *pivotes*, término utilizado para integrar hallazgos en varias áreas. De tal manera, un pivote puede ser entendido como un modelo mental. Un pivote también es el cuerpo, idea que surge del concepto de cognición corporizada. Pero tal vez más fundamental, la biología y el cerebro son los pivotes esenciales para comprender. Así, el ensayo se puede ver como un recorrido breve de tres materias: *modelos mentales*, *cognición corporizada* y *neurociencias cognitivas;* todas necesarias para entender cómo comprende una persona.

Palabras clave: cognoscitivismo, conocimiento, formación de conceptos, modelos mentales, cognición corporizada.

How do we understand? A pivot proposal

Abstract

The basic question is what it is needed to understand. The proposal is that understanding requires *pivots*, a useful word to integrate findings in different areas. In that sense, a pivot can be understood as a mental model. It can also be the body, an idea based on embodied cognition. But more fundamentally, our biology and brain are the central pivots for understanding. Therefore, this essay can be seen as a brief travel through three different subjects: Mental Models, Embodied Cognition and Cognitive Neuroscience, all of which are necessary to understand how a person understands.

Key words: cognition, knowledge, concept formation, mental models, embodied cognition.

Educación Vol. XX, N° 38, marzo 2011, pp. 7-21 / ISSN 1019-9403

Introducción

Empezando en el año 2002, Grigori Perelman, matemático ruso, mostró a la comunidad matemática la prueba a una de las conjeturas más escurridizas de la matemática: la conjetura de Poincaré. Para efectos del presente escrito, basta decir que es un problema topológico que involucra (o involucraba, pues ya se demostró) saber si la estructura más simple en cuatro dimensiones es el equivalente de una esfera en tres dimensiones (i.e. la única superficie donde una banda elástica/cuerda se puede reducir a un punto).

Salta inmediatamente a la vista que es un problema extraño para los no familiarizados. De hecho, mencionar cuatro dimensiones ya es una abstracción —por decirlo de alguna forma— lejana para la mayoría. Lo que hizo Perelman, entonces, fue notable. Muchos matemáticos sucumbieron en el intento de probarla (O'Shea, 2007), e incluso en algún momento se mencionó que demostrarlo implicaría ir más allá de la cognición conocida (Gessen, 2009). Tal era la dificultad del problema que el Instituto de Matemáticas de Clay (instituto privado de Estados Unidos dedicado a diseminar y apoyar la investigación matemática) lo incluyó en su lista de los seis problemas más relevantes a demostrar para las matemáticas, y asignó un millón de dólares de recompensa para quien lo hiciera. Para subrayar aún más el logro de Perelman, su prueba tuvo que pasar por un proceso de revisión de alrededor de un año, tiempo que el mismo Perelman predijo que se requeriría para comprender su prueba (Gessen, 2009).

La pregunta es simple, entonces: ¿qué podemos llegar a comprender? ¿Podemos todos comprender la conjetura y su prueba? De forma más genérica —pues el presente no es un texto sobre la conjetura sino de comprensión— ¿qué se necesita para comprender o no comprender?

La hipótesis a desarrollar es que comprender algo requiere *pivotes* que sirven de bases. Estos se definirán, entonces, como soportes a partir de los cuales es posible la comprensión. La intuición es simple, si se sigue la historia de Perelman. ¿Puede él ver en cuatro dimensiones? La pregunta es condescendiente y la respuesta es obvia: no. Lo que él hizo, cuan grande sea, se realizó por una persona que comparte los límites perceptuales y cognitivos de todos. Algo distinto subyace el logro de demostrar y entender la conjetura y su prueba: *pivotes.* A continuación se presentarán distintas maneras intuitivas de entenderlos, y este ensayo debe leerse como una reseña que integra varios hallazgos en el término *pivote*.

Pivotes = modelos mentales

La definición básica de pivote es *punto de apoyo*. Así, la primera forma de pensar los pivotes, en el contexto de comprender, es como *mundos imaginarios*, expresión usada por Black (2007). La idea básica detrás de mundos imaginarios es que la comprensión son «mundos», con relaciones, por ejemplo, espaciales, causales, de inferencia, y son estas las que explican que alguien entienda —o entienda de manera extraña— un tema. Un mundo podría ser el generado por la astrología, donde una regla causal de un comportamiento es la fecha de nacimiento. El ejemplo sirve para resaltar que los mundos generados por las personas no necesariamente se compadecen de la realidad (si se acepta que la astrología es una pseudociencia). De tal forma, la eficiencia (o ineficiencia) de las herramientas tecnológicas en educación se halla en que el estudiante genera «mundos», revelados, por ejemplo, por el *software* y sus imágenes. En esta línea, Chan y Black (2006) encontraron que el aprendizaje de transferencia de energía mecánica, en estudiantes de séptimo grado, mejoraba cuando había una explicación junto con una animación manipulable, en comparación con aquellos que solo recibían una explicación, o incluso explicación más imágenes estáticas. El poder manipular el mundo, que en el estudio de Chan y Black (2006) era un carrito en una montaña rusa, mejoraba la comprensión de un concepto abstracto, como lo es la transferencia/conservación de energía.

Así, los mundos imaginarios —o modelos mentales— son claves en la comprensión y razonamiento de un tema (ver más sobre la naturaleza de razonamiento basado en mundos en Ramírez, 2010). Por tanto, uno de los objetivos fundamentales de la educación debería ser preparar a la gente para pensar, en particular para construir, elaborar, revisar y actualizar estos modelos (Kuhn, 2005). Sin embargo, para la mayoría no es una tarea sencilla. Por lo general, predominan mundos donde la causalidad es aditiva (i.e. distintos factores se suman, pero son independientes, no interactúan), se descuentan variables (i.e. asignar una o pocas causas a un fenómeno y se descartan otras), se sobrevaloran variables (i.e. dar mucha importancia a una causa para explicar un fenómeno) y no son multivariados.

Por ejemplo, en el caso de primar mundos de causalidad aditiva, el siguiente experimento es clarificador. A un grupo de estudiantes de sexto de bachillerato y de universidad se le plantearon dos problemas. El primero era acumular madera, en donde tres personas A, B y C, tenían distintas habilidades para apilarla. La pregunta era cuánta madera acumularían AB, AC, BC y ABC. Ambos grupos contestaron bien, y usaron una lógica aditiva apropiada para el problema de acumular madera. El segundo problema era similar, pero en esta ocasión, en lugar de tres personas eran tres elementos químicos que contaminaban el aire. A diferencia del problema de apilar madera, los tres químicos podrían interactuar y contaminar exponencialmente el aire, por lo que una causalidad aditiva no sería la apropiada. No obstante, 100% de los estudiantes de sexto y 88% de los universitarios volvieron a usarla (Kuhn, Katz y Dean, 2004).

En el anterior estudio de apilar madera/contaminar aire se evidencian las lógicas que perseveran en los modelos mentales. Pero no solo en problemas concretos de acumular objetos o medir contaminación se presentan lógicas perseverantes. En matemática —un área usualmente definida como abstracta—, algunos estudiantes parecen aferrarse a modelos lineales. En un *set* de entrevistas a un par de estudiantes universitarios, Esteley, Villareal, y Alagia (2004) encontraron que ante un problema no lineal («Diga si es falso o verdadero. Un insecto que pesa 30 gramos al nacer aumenta su peso 20% al mes. Su peso luego de dos meses es 43,2 gramos») las respuestas eran lineales [e.g. peso (t) = 30 + 6t], las cuales no conducían a la respuesta correcta. Más interesante, Esteley *et al*. (2004) encontraron evidencia congruente a la perseverancia de lógicas aditivas. Ambos estudiantes entrevistados escribían expresiones matemáticas (fórmulas/modelos) en donde había una suma. Esta perseverancia aditiva, en el marco del problema no lineal planteado por los investigadores, era incorrecta, pues la variable de interés cambiaba exponencialmente [e.g. peso (t) = 30 * 120% ^ *n*], donde *n* es el periodo considerado, y 120% es el factor de crecimiento mes a mes.

Las palabras *mundo* o *modelo* no implican que para un tema solo se utilice un mundo o modelo. Para David Tall (2004, 2008), en matemáticas se pueden contar tres mundos. El primero es un mundo corporizado, donde los conceptos se pueden percibir, sea de forma sensorial o mediante imágenes mentales. Así, la geometría euclidiana es un buen ejemplo de matemáticas que se puede percibir. En este mundo, toda manipulación y resultado matemático se compadece en el mundo corporal. El segundo es el de símbolos y su manipulación, llamado mundo proceptual. En este hay acciones (e.g. contar) que están encapsuladas en símbolos para hacer y pensar las matemáticas. En álgebra es central moverse bien en este mundo. Finalmente, el tercer mundo es el formal. En este hay objetos definidos axiomáticamente por los matemáticos. Es claro que objetos de cuatro dimensiones no se pueden entender del todo en el mundo corporizado: es en el mundo formal donde toman «vida».

El mundo formal, entonces, es el más abstracto, si se quiere, pero a su vez los objetos formales «se consideran dotados de una *auténtica* existencia en el mundo de las ideas, que es considerado tan real como el mundo físico de los objetos concretos. Por lo tanto, el descubrimiento [matemático] requiere, literalmente, un *sexto sentido* que permita percibir los objetos abstractos, del mismo modo en que los cinco sentidos permiten percibir los objetos concretos» (Odifreddi, 2000: 27).

La comprensión de un tema, entonces, pasa por tener el modelo mental (o mundo imaginario) apropiado. Es por esto que un pivote puede ser definido como un modelo mental. ¿Qué consecuencias se derivan? En primera medida, la perseverancia de lógicas en los modelos mentales puede explicar por qué un tema se entiende parcial o incorrectamente. Por ejemplo, si se acepta que lógicas lineales son perseverantes, y si en una clase de Biología el profesor explica el crecimiento exponencial de una población, ahondar en el significado de exponencial es un imperativo. En segunda medida, los modelos mentales pueden ser pivotes positivos, que ayudan a la comprensión, o negativos, que la frenan, e igualmente pueden ser mixtos, tanto positivos o negativos, lo que significa que si un tema se comprende por los pivotes, entonces es posible que haya comprensiones parciales, que se sientan sobre pivotes mixtos. En tercera medida, identificar modelos mentales no es una tarea simple: de hecho pueden llegar a ser inexpresables.

Por ejemplo, el aparato perceptual humano genera ilusiones visuales que no se pueden evitar, y para Purves (2010) esto se debe a una historia evolutiva que capturó regularidades visuales del ambiente en un periodo de millones de años. Para este investigador, entonces, el cerebro funciona a partir de modelos de qué es lo que se debería ver (lo que explica las ilusiones visuales). Lo interesante es que no es posible controlarlos: simplemente ocurren. Pero esto no retira la importancia de tratar de identificar modelos, pues significa reconocer los pivotes sobre los cuales se asienta la comprensión. En particular, un modelo mental, a partir de la literatura acá revisada, incluye variables, relaciones entre ellas (e.g. aditivas, multiplicativas, lineales, no lineales), imágenes, animaciones, conceptos corporizados o abstractos. Esta no es una lista exhaustiva, pero sí operacional para evaluar problemas o fortalezas de comprensión.

Pivotes = cognición corporizada

Los pivotes también pueden ser entendidos como una derivación o corolario, si se quiere, de teorías de cognición corporizada. En términos simples, es la idea que la inteligencia requiere un cuerpo que permita al organismo comunicarse, manipular el medio, interpretarlo y entenderlo. Esta es una manifestación de filosofías pragmáticas tipo Dewey, donde la experiencia e interacción con la realidad son claves en el proceso de aprender, pero a la vez con mucho mayor alcance. Por ejemplo, en un libro reciente de dos investigadores en inteligencia artificial, Pfeifer y Bongard (2006), se propone que la simple manipulación simbólica, realizada por un procesador central (e.g. cerebro, CPU), no basta para generar comportamientos inteligentes. La aproximación de Pfeifer en su laboratorio de inteligencia artificial es, por lo tanto, construir robots donde el cuerpo, morfología y materiales, jueguen un papel tan central como el procesamiento algorítmico-simbólico.

En esta línea, y en un análisis detallado de cognición matemática corporizada, Lakoff y Núñez (2000) plantearon que las matemáticas no son una tarea platónica, sino que requieren metáforas conceptuales que mantienen reglas de inferencias entre la fuente de la metáfora (e.g. colección de objetos) y el objeto a comprender (e.g. aritmética). Así, utilizar una metáfora de colección de objetos para aproximarse a la aritmética implicaría que sumar, por ejemplo, es poner colecciones juntas. Según estos autores, la comprensión metafórica requiere un cuerpo y un cerebro para entenderlas y combinarlas de maneras novedosas. En otras palabras, las matemáticas que los humanos construyen son las que pueden tener por su cerebro, su cuerpo, y la forma como interactúan con el entorno. No sobra decir que las metáforas pueden variar entre culturas (e.g. tiempo en los aimaras; ver Núñez, 2009), pero no se pueden librar de la estructura física que las genera: el cuerpo. De tal forma, la propuesta de los autores no es posmoderna, dependiente totalmente de contextos, sino que afirma que la cognición matemática existe en un cuerpo, al punto que inauguran el campo de *análisis de ideas matemáticas*. Esto es, las ideas matemáticas se pueden analizar con herramientas cognitivas y de la neurociencia, basándose sobre lo que la ciencia sabe sobre el cuerpo humano y lo que es capaz de procesar.

Aun cuando la propuesta de cognición corporizada no es exactamente sobre pivotes de comprensión, sí implica que el cuerpo es un pivote. De hecho, la noción de cognición corporizada fue explorada recientemente por Mateus y Otero (2009). Ellos se adentraron en la comprensión de textos científicos en estudiantes de secundaria. Su objetivo era evaluar la derivación de disponibilidades en la comprensión de dos problemas: uno era sobre el movimiento de un carrete en un plano, y otro era un problema de temperatura (e.g. qué objeto tiene más temperatura). Para entender su estudio es preciso definir disponibilidad. Una disponibilidad «hace referencia a cómo un individuo, con un cuerpo determinado, puede interactuar con un objeto que tiene también unas características particulares» (Mateus y Otero, 2009: 43). Es decir, una disponibilidad son las posibilidades que tiene un objeto de ser manipulado por un cuerpo dado (e.g. un pez no tendría disponibilidades para una piedra, como un objeto para clavar algo, pues no tiene manos).

Lo interesante es que la comprensión científica, hasta cierto punto, exige que modifiquemos disponibilidades perceptuales inmediatas y utilicemos otras disponibilidades científicas. No se darán todos los resultados de dicho estudio, pero en el problema de temperatura, los autores encontraron que los estudiantes juzgaban que una moneda de madera y otra de metal, calentadas al mismo punto, tenían diferentes temperaturas. Una inferencia incorrecta, pues si se calientan al mismo punto deben tener la misma temperatura. Los hallazgos de Mateus y Otero (2009) apuntaron que a los estudiantes se les dificultaba cambiar disponibilidades perceptuales (cuando el cuerpo toca objetos metálicos calientes, como la moneda, suelen transmitir mucho calor), al menos en el corto plazo, y dicha dificultad puede estar en la raíz de problemas de concepciones alternativas (un eufemismo para *erróneas*) en ciencias.

La importancia del uso del cuerpo y su relación con comprender se evidenció igualmente, aunque de manera tangencial, en un estudio por Sabbagh, Hopkins, Benson y Randall Flanagan (2010). Estos investigadores evaluaron a un grupo de niños de 4 a 5 años en tres dimensiones. Primero, en una batería para determinar teoría de la mente (ToM), es decir, en su habilidad de reconocer que el otro tiene una mente similar a la propia y hacer predicciones acordes (se piensa que uno de los principales problemas en el autismo es tener debilidades en la teoría de la mente). La segunda fue en la habilidad para adaptarse a distintos pesos, en donde primero se levantaba un objeto con un peso y luego otro, visualmente idéntico pero más pesado. Finalmente, la tercera fue en funciones ejecutivas a manera de control, pues la ToM y las funciones ejecutivas ya habían sido correlacionadas con anterioridad. Los resultados fueron reveladores, en tanto que los niños con puntaciones bajas en la batería de ToM no se adaptaban tan bien en levantar el objeto visualmente idéntico pero más pesado. La razón no es del todo clara, pero el estudio sí es una potencial muestra de que el control corporal —en este caso adaptarse al levantamiento de pesos— está conectado a formar conceptos, en particular en ToM.

Como vemos, el cuerpo es central para comprender, y la noción de cognición corporizada se puede incluir en la idea de pivote. En palabras sencillas, comprender se sustenta en el cuerpo, y por ello el cuerpo es un pivote de comprensión. Pero esto a su vez implica lo siguiente: la condición del pivote no siempre va a ser positiva, es decir, todo pivote no conduce ineludiblemente a comprensiones correctas. Por el contrario, pivotes perceptuales pueden tanto limitar como ayudar la comprensión. Un pivote perceptual se define como aquel que se sustenta en la percepción (entendida como el proceso del organismo para obtener información del entorno). Propuestas pragmáticas en educación, como las de Dewey (1925), pueden ser vistas como dependientes en una importante manera —no del todo— de pivotes perceptuales, en cuanto requieren que la educación se base en experiencia y aplicabilidad. Pero el estudio de Mateus y Otero (2009) ha mencionado evidencia que disponibilidades perceptuales inmediatas frenan la comprensión. En su estudio, los participantes juzgaban que dos objetos: una moneda y una ficha de madera, calentadas al mismo punto, tenían diferentes temperaturas, al parecer por la sensación térmica superior que provocan los objetos metálicos. Pero más problemático es que a las propuestas dependientes de pivotes perceptuales se les dificulta explicar la comprensión de conceptos que no son aplicables por sí mismos, ni fácilmente observables en la realidad (e.g. superficies de cuatro dimensiones).

Relacionar el concepto de pivote con teorías de cognición es, por lo tanto, importante, pero se debe tomar con cautela la idea de que toda comprensión debe tener bases corporizadas. Es más, Lakoff y Núñez (2000), en su texto de matemáticas corporizadas, afirman que las matemáticas avanzadas se basan en la combinación de metáforas simples que tienen su fundamento en experiencias corporales elementales, pero no queda claro si las metáforas mixtas que surgen tienen un reflejo literal en el mundo corpóreo. Por ejemplo, cualesquiera que sean las metáforas elementales necesarias para entender la prueba de la conjetura de Poincaré, una esfera en cuatro dimensiones no tendrá, literalmente, una manifestación corpórea en tres dimensiones.

Lo anterior no quita la fortaleza de análisis corporales. De hecho, comprensiones en áreas tan diversas como política, matemáticas, química, ciencias computacionales, o cualquier otra que involucre crear, pueden estar pivoteadas en combinaciones conceptuales (e.g. Fauconnier y Turner, 2002), que a su vez se fundamentan en la propuesta de cognición corporizada. Así, conceptos nuevos surgen gracias a combinaciones conceptuales intra-área (e.g. los números complejos son la combinación de dos conceptos matemáticos: espacio bidimensional y de números) o inter-áreas (e.g. el concepto inteligencia artificial lo podemos entender por inteligencia de psicología y artificial de ciencias de la computación o ingenierías). Aún más: la idea de combinación metafórica y conceptual es fuerte, y en la actualidad recibe mucha atención investigativa. Es decir, el cuerpo tiene mucho que decirnos sobre nuestros procesos mentales —incluyendo el comprender—, y por ello el cuerpo es un pivote, pero no debe obviarse la posibilidad de que pueda bloquear el entendimiento de abstracciones más elaboradas.

Pivotes = procesamiento biológico

Detrás de la idea de cognición corporizada, combinación metafórica, combinación conceptual o modelos mentales, está el ser humano, su biología y sus procesos. Por ello, la biología es el principal pivote. Entender qué es un pivote, por tanto, pasa por un recuento breve —y, de lejos, definitivo— sobre el aparato biológico que ha recibido amplia atención en la última década: el cerebro.

La pregunta inicial del ensayo/reseña era «¿qué se necesita para comprender?». La respuesta: pivotes. Pero más en profundidad, si se acepta que la comprensión no es un concepto inabordable, místico y unitario, entonces se puede hacer una disección de ella, en todo el sentido biológico. No sobra repetir que no será un recuento definitivo y pormenorizado, pero sí introductorio.

Hacer una disección biológica de qué es comprender define hasta cierto punto a un área del conocimiento: las neurociencias cognitivas. Por consiguiente, la literatura a continuación se puede enmarcar en ellas. Pero antes de continuar, el norte básico es uno donde el concepto de comprensión no es elemental. Con esto se quiere decir que la comprensión no es un axioma, en tanto se puede descomponer. Minsky (2006) propone que, si la ciencia de la mente quiere avanzar, debe alejarse de formas clásicas de hacer ciencia donde se buscan explicaciones sencillas para fenómenos complejos. Su propuesta es que se deben buscar formas más complejas para describir procesos mentales que en principio parecen simples. Consciencia, temor, alegría, ira, dolor, comprensión, son susceptibles del marco epistemológico visionado por Minsky.

A su vez, este marco epistemológico es congruente con otra propuesta que guiará esta sección: neurofilosofía. Consiste en que conceptos filosóficos-psicológicos, como consciencia, conocimiento o libre albedrío, ya no pueden darle la espalda a avances de la neurociencia. En la acepción más matizada de neurofilosofía, los conceptos como consciencia son útiles para dar intuiciones de lo que se quiere decir, pero se deben describir y entender en términos de procesamiento biológico (Churchland, 1986, 2002). Lo que se encontrará muy posiblemente será complejo y polémico, pero la precisión será mayor. De tal forma, comprender es otro concepto que debe fundamentarse en hallazgos de la neurociencia.

Una vez definido el marco de esta sección, es posible empezar. Tal vez Piaget fue el primero en revelar la importancia del desarrollo biológico en la concepción que tiene un niño sobre su entorno, por ejemplo en su aproximación al número (Piaget, 1965) y del espacio (Piaget e Inhelder, 1967). De manera simple, Piaget planteó que hay comprensiones que se desarrollan a medida que el niño crece. En un experimento clásico, demostró que los niños no manejaban la idea de conservación de la materia. Al pedirles que llenaran un recipiente alto y angosto con un líquido (e.g. agua) al mismo volumen que otro, el cual era chato y ancho, los niños igualaban los niveles/alturas en ambos recipientes, aun cuando el recipiente alto y angosto claramente debía llenarse a más altura, precisamente por sus características físicas. Este y otros resultados llevaron a Piaget a concluir que ciertas comprensiones deben esperar dinámicas de crecimiento. Sus interpretaciones de los experimentos no son absolutas ni están libres de controversia, pero sí se le debe a este gigante suizo pensar que la biología era central en comprensiones y epistemologías individuales, tanto que uno de sus libros se tituló *Biología y conocimiento* (Piaget, 1969).

Piaget sería el primero en maravillarse de los avances actuales (e.g. resonancia magnética funcional, fMRI por sus siglas en inglés). Conceptos como inteligencia se pueden abordar ahora de maneras inimaginables veinticinco años atrás. Interesantemente, se ha encontrado que esta habilidad de comprensión, creación y adaptación parece depender tanto de nuestro entorno como de nuestra biología. Por ser esta sección de pivotes como biología, se mostrarán resultados alrededor de ella, sin que esto signifique que no se tome en cuenta la importancia del medio y la historia personal. En una reseña reciente sobre la inteligencia general (i.e. índices que tratan de medir/encontrar una habilidad cognitiva general que soporte las demás, como cognición espacial, velocidad de procesamiento, razonamiento) hecha por Deary, Penke y Johnson (2010), estos afirman que el concepto no es uno sin debate (e.g. *vs*. inteligencias múltiples de Gardner), pero en términos biológicos hay dos resultados que se replican y correlacionan, modestamente, con índices de inteligencia general (i.e. *g*): genética y tamaño del cerebro.

Por ejemplo, entre 30% y 80% de la varianza de la inteligencia general se explica por factores hereditarios. Esto se puede dar por el hecho de que la densidad de la materia gris y blanca, en diferentes estructuras del cerebro —cuerpo calloso, corteza temporal, corteza medial frontal, amígdala, hipocampo, área de Broca, corteza cingulada anterior, giro de Heschl— y su volumen muestran fuerte influencia de herencia genética. Pero no es tan simple: en una reseña que revisó doscientos estudios en los últimos catorce años sobre los cincuenta genes que se dice se relacionan con habilidades cognitivas, se concluyó que aún no se ha podido determinar cuál gen explica la variabilidad cognitiva (Payton, 2009). Sin embargo, varios estudios sí han encontrado correlaciones con el tamaño del cerebro (Rushton y Ankney, 2009), y aun cuando son leves y la correlación no implica causalidad, sí son evidencia de que el tamaño sí importa (o al menos tiene efectos sobre la inteligencia general). Un estudio incluso encontró que la trayectoria de cambio en el grosor cortical se correlaciona con la inteligencia general, y que la corteza frontal de los niños inteligentes es más flexible (i.e. crecía rápidamente entre 10 y 15 años de edad y luego se estabilizaba, según Shaw *et al.*, 2006).

Por polémicos que puedan parecer los estudios de la biología de la inteligencia general, en tanto el mismo concepto genera discusiones (e.g. Sternberg, 1999) y podría enmarcarse en frenología moderna, resaltan que procesar y comprender se deben sustentar en una maquinaria biológica. Encontrar factores que expliquen ese 30% a 80% de la varianza de inteligencia general no debe descartarse bajo el argumento de que estos son polémicos. Sin embargo, la historia completa de cómo se comprende con seguridad será mucho más compleja que correlacionar una estructura cerebral grande con habilidades cognitivas generales; pero sí es básico —para efectos de este ensayo— ver que el aparato biológico se constituye en un pivote de comprensión.

Es un sustento sobre el cual aparece el entender. Por ejemplo, el autismo es definido por el Centro de Investigación sobre el Autismo de la Universidad de Cambridge (ARC, por sus siglas en inglés) como un espectro de *síntomas relacionados con desarrollo neuronal*, caracterizados por problemas de socialización, comunicación, intereses específicos y comportamientos repetitivos (más información en http://www.autismresearchcentre.com/). De tal manera, si se sigue la definición del ARC, en donde el autismo es una condición conectada al desarrollo neuronal, comprender la vida social requiere un aparato biológico adecuado.

Pero se podría afirmar que la vida social no es un tema apropiado para un ensayo que trata sobre la comprensión. Por eso se tocará ahora un tema que ha crecido en interés: dificultades de aprendizaje en matemática (Berch y Mazzocco, 2007). La pregunta básica, cuando se habla de dificultades en matemáticas, es por qué estas son insalvables —e incluso generan temor— en muchas personas. Varios autores trabajan en la idea de que las matemáticas se procesan en el cerebro (Butterworth, 1999; Dehaene, 2009; Lakoff y Núñez, 2000), lo cual explicaría las dificultades. Por ejemplo, lesiones en el área parietal del cerebro generan dificultades para contar; incluso hay reportes de epilepsias originadas por empezar tareas aritméticas como sumar o restar (ver casos en Dehaene, 1997).

En otras palabras, las matemáticas necesitan el cerebro, por lo cual entender las dificultades en dicha materia pasa por entender los cuellos de botella en la biología del cerebro. Se requiere que habilidades básicas provenientes del procesamiento que hace el cerebro, tales como reconocer números pequeños (que en inglés se denomina *subitizing*), reconocer los dedos propios (i.e. *gnosia* de dedos), habilidades motoras finas, estén en buen estado (Butterworth, 1999). Aun cuando pueda sonar evidente que las matemáticas vienen del cerebro, no es una idea fácil de digerir, en especial para personas que defienden su condición platónica. Sin embargo, la evidencia se inclina fuertemente a que necesitamos el cerebro para entenderlas y hacerlas. Si se lleva el argumento al extremo, «se podría pensar que otras especies [con estructuras cerebrales diferentes] desarrollarían [si pudieran] matemáticas radicalmente diferentes» (Dehane, 1997: 244); matemáticas que se fundamentarían en las capacidades de procesamiento de dichas especies.

El tema de cognición matemática es fascinante, y los últimos resultados superan el intento del presente escrito. Lo relevante es cómo la biología se convierte en un pivote. No obstante, hay que ir con cuidado. Lo que se defiende no es una forma de frenología[1] moderna. De hecho, el subtítulo de uno de los libros de un exponente de cognición matemática, Butterworth, es diciente: «Cómo TODO cerebro está cableado para las matemáticas» (*How every brain is hardwired for math*). Que se diga que comprender depende de un aparato biológico es diferente que decir que UNA biología explica TODAS las comprensiones. De hecho —y a manera de hipótesis—, si se pudiera comparar el cerebro de grandes matemáticos contemporáneos (e.g. Perelman, Witten, Terence Tao y otros), con seguridad se encontrarán unos con cortezas parietales extensas, otros con lóbulos frontales amplios, algunos con amígdalas limitadas, y otros con ganglios basales atrofiados o con hipocampos pequeños. Esto porque la historia importa: el cerebro es plástico, y abunda la evidencia sobre ello (e.g. ver el estudio clásico del cambio del hipocampo en taxistas de Londres; Maguire, y otros, 2000). Además, comprender va a depender de utilizar la biología de maneras creativas, combinarla y aprovecharla. Por lo tanto, diferentes biologías pueden conducir a los mismos niveles de comprensión.

Conclusión

El presente texto se inició como una reseña que integraba hallazgos en el término genérico de *pivote*. La elección de dicho término no es caprichosa: un pivote es un soporte. Lo interesante de un ser humano es lo diversos que pueden ser. Se pueden hacer modelos mentales y, sobre ellos, trabajar para cambiarlos, de manera consciente o inconsciente, para mejorar las comprensiones. Se puede utilizar el cuerpo, generar disponibilidades y entender

[1] Frenología: propuesta del siglo XVIII hecha por Franz Joseph Gall en la que la forma del cráneo determinaba la función mental. Por ejemplo, una protuberancia frontal en el cráneo se podía relacionar con mayor inteligencia.

metafóricamente. O se puede entender gracias a nuestra biología, pero sin caer en determinismos biológicos de UNA biología, UNA comprensión.

Las consecuencias son simples. El comprender no recorre un camino y más interesante, es difícil determinar cómo se combinaran los pivotes. Detrás del «misterio» de Perelman y la prueba de su conjetura, está, en términos sencillos, un problema de combinatorias de modelos, cuerpo y biología. Pero, más relevante, el misterio de enseñar está en generar *pivotes* que los estudiantes utilicen para crear y disfrutar el aprendizaje.

Bibliografía

Berch, D. y M. M. Mazzocco
2007 *Why is math so hard for some children: The nature and origins of mathematics learning difficulties and disabilities.* Baltimore: Brookes.

Black, J. B.
2007 Imaginary Worlds. En M. A. Gluck, J. R. Anderson y S. M. Kosslyn, *Memory and mind* (pp. 195-208). New York: Taylor y Francis.

Butterworth, B.
1999 *What counts: how every brain is hardwired for math.* New York: The Free Press.

Chan, M. y J. Black
2006 Direct-manipulation animation: incorporating the haptic channel in the learning process to support middle school students in science learning and mental model acquisition. *Proceedings of the 7th international conference on Learning sciences* (pp. 64-70). Indiana: International Society of the Learning Sciences.

Churchland, P. S.
1986 *Neurophilosophy: Toward a unified science of the Mind-Brain.* Massachusetts: MIT Press.
2002 *Brain-Wise: Studies in Neurophilosophy.* Massachusetts: MIT Press.

Deary, I. J., L. Penke y W. Johnson
2010 The neuroscience of human intelligence. *Nature Reviews: Neuroscience,* 11, pp. 201-211.

Dehaene, S.
1997 *The number sense: How the mind creates mathematics.* New York: Oxford University Press.
2009 Origins of mathematical intuitions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, pp. 232-259.

Dewey, J.
1925 The development of american pragmatism. En U. Columbia, *Studies in the History of Ideas* (pp. 353-377). New York: Columbia University Press.

Esteley, C., M. Villarreal y H. Alagia
2004 Extending linear models to non-linear contexts: An in depth study about two university students mathematical productions. *Proceedings of the 28th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education,* 2, pp. 343-350. Bergen, Norway.

Fauconnier, G. y M. Turner
2002 *The way we think: Conceptual blending and the mind's hidden complexities.* New York: Basic Books.

Gessen, M.
2009 *Perfect Rigor: A genius + the mathematical breakthrough of the century.* New York: Houghton Mifflin Harcourt.

Kuhn, D.
2005 *Education for thinking.* Massachusetts: Harvard University Press.

Kuhn, D., J. Katz y D. Dean
2004 Developing reason. *Thinking and Reasoning,* 10(2), pp. 197-219.

Lakoff, G. y R. Núñez
2000 *Where mathematics comes from: how the embodied mind brings mathematics into being.* New York: Basic Books.

Maguire, E. A., D. G. Gadian, I. S. Johnsrude, C. D. Good, J. Ashburner, R. S. Frackowiak *et al*.
2000 Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *PNAS,* 8, pp. 4398-4403.

Mateus, G. E. y J. Otero
2009 Teorías de la corporeidad y pensamiento científico: derivación de disponibilidades en la comprensión de sistemas físicos. *Revista Colombiana de Educación,* 56, pp. 39-58.

Minsky, M.
2006 *The emotion machine: Commonsense thinking, artificial intelligence and the future of the human mind.* New York: Simon y Schuster.

Núñez, R.
2009 Numbers and arithmetic: Neither hardwired nor out there. *Biological Theory,* 4, pp. 68-83.

Odifreddi, P.
2000 *La matemática del siglo XX.* Roma: Katz.

O'Shea, D.
2007 *The Poincare Conjecture: In search of the shape of the universe.* New York: Walker and Company.

Payton, A.
2009 The impact of genetic research on our understanding of normal cognitive ageing: 1995 to 2009. *Neuropsychology Review,* 4, pp. 451-477.

Pfeifer, R. y J. Bongard
2006 *How the body shapes the way we think.* MIT Press.

Piaget, J.
1965 *The Child's Conception of Number.* New York: The Norton Library.
1969 *Biología y conocimiento*. Ciudad de México: Siglo XXI.

Piaget, J. y B. Inhelder
1967 *The Child's Conception of Space.* New York: The Norton Library.

Purves, D.
2010 *Brains: How they work and what that tell us about who we are.* New Jersey: FT Press Science.

Ramírez, A.
2010 Naturaleza de los razonamientos basados en modelos. *Praxis Filosófica,* 30, pp. 7-28.

Rushton, J. P. y C. D. Ankney
2009 Whole brain size and general mental ability: a review. *International Journal of Neuroscience,* 119, pp. 692-732.

Sabbagh, M. A.; S. F. Hopkins; J. E. Benson y J. R. Flanagan
2010 Conceptual change and preschoolers' theory of mind: Evidence from load-force adaptation. *Neural Networks,* 23, pp. 1043-1050.

Shaw, P.; D. Greenstein; J. Lerch; L. Clasen; R. Lenroot; N. Gogtay *et al.*
2006 Intellectual ability and cortical development in children and adolescents. *Nature,* 440, pp. 676-679.

Sternberg, R. J.
1999 The theory of successful intelligence. *Review of General Psychology,* 3, pp. 292-316.

Tall, D.
2004 Thinking through three worlds of mathematics. *Proceedings of the 28th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education,* 4, pp. 281-288. Bergen, Norway.
2008 The Transition to Formal Thinking in Mathematics. *Mathematics Education Research Journal,* 2, pp. 5-24.