

# Ecología cognitiva del significado matemático: aproximación desde las ciencias cognitivas

Ronnie Videla Reyes<sup>12</sup> Roberto Araya Schulz<sup>3</sup> Sebastián Rossel Salas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de La Serena, <sup>2</sup>Universidad Central de Chile, <sup>3</sup>CIAE Universidad de Chile

## Introducción

La creación e innovación de nuevas soluciones posibles para dar respuesta a las necesidades de la sociedad, han puesto a las matemáticas como eje axial del desarrollo científico y por lo tanto de la educación. Las matemáticas producto de su naturaleza simbólica y formal se han convertido en una de las disciplinas con más obstáculos para la enseñanza y aprendizaje. A partir de esto, el significado matemático a co-construir entre profesores y alumnos durante la interacción, se ve limitado en su génesis y desarrollo producto de la ausencia de acciones corpóreas relativas a experiencias cotidianas que facilitan la articulación con los contenidos temáticos del currículo en sus distintos niveles de escolaridad. De este modo, muchos niños y niñas no logran desarrollar las habilidades matemáticas necesarias para responder a las demandas de su contexto, debido a que se vuelven difíciles por su alto nivel de abstracción y por ende desprovistas de sentido para su comprensión y uso cotidiano.

Actualmente y en gran parte del mundo predomina el paradigma cognitivista del procesamiento de la información, el cual reduce la mediación semiótica de la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas mediante el uso de pautas mecánicas y algorítmicas de procedimientos aritméticos. Esta concepción funcionalista y anti-ambientalista de la mente, conlleva a entender el significado matemático como un producto puramente intelectual desacoplado del cuerpo y del contexto en que se despliega. A partir de los últimos hallazgos en ciencias cognitivas, se hace insostenible justificar la génesis del significado a partir de la manipulación exclusiva de representaciones.

Los nuevos enfoques contemporáneos de la cognición sostienen que la génesis del significado es de naturaleza corpórea-social. Tanto su origen, articulación, despliegue y expresión son correlatos de una mente altamente encarnada y situada contextualmente. Resulta difícil dar cuenta del significado, si lo que se pretende es separar las transferencias que hay entre el cerebro, la mente, el cuerpo y la cultura. Romper la comunicación entre estos estratos acoplados sincrónicamente es sesgar un nicho ecológico de interacciones vital para la emergencia del significado.

En las ciencias cognitivas el aprendizaje se entiende como una configuración histórica de acoplamientos estructurales entre el ser humano y la cultura, siendo el significado el resultado de transformaciones en la conducta derivados de coherencias moleculares, sensoriales y relacionales generadas en la ontogenia. Esta nueva propuesta de aprendizaje basada en la ecología cognitiva resitúa la noción de significado matemático encapsulado en la cabeza, independiente y nativista derivado del cetro abstracto y hegemónico del mundo de las ideas. Propone más bien remplazar la idea de las matemáticas como verdades objetivas por la noción de hechos intersubjetivos de quien las vive con y para otros. El significado matemático no sería algo que está allá fuera, sino que es algo que hacemos y emerge de continuas respectividades biológico-culturales. Aspirar a una educación matemática basada desde la ecología cognitiva permite responder de manera genuina respecto a cómo aprendemos los seres humanos. De esta manera, profesores y escolares podrían compartir y transferir sus estrategias, así como también sus conocimientos y habilidades a nuevas situaciones de aprendizaje más profundo, ya que la génesis del significado matemático estaría supeditado al encuentro de la experiencia cotidiana con los conceptos abstractos en un entorno dinámico, flexible y complejo.

### **1. Evolución de la cognición matemática: más allá de la selección natural y más cerca de la deriva natural.**

Los seres humanos y otras especies animales poseen habilidades biológicamente dotadas para discriminar cantidades, estimar numerosidad o mapear números en la recta numérica, sin embargo, esta evidencia no implica necesariamente que sea matemática (Núñez, 2011). Se ha asumido que la cognición matemática tiene su origen en intuiciones formadas por la evolución, apareciendo tempranamente en la ontogenia con independencia de la educación y

la enculturación (Dehaene, 2008). Pero, ¿se puede asumir que las habilidades de discriminación, mapeo numérico espacial y estimación son de naturaleza matemática, de modo que surgen como un producto innato de la evolución? ¿existe acaso un significado matemático encapsulado evolutivamente? Una respuesta interesante a estas preguntas está a la base de la teoría de la selección natural, la cual propone que el cambio en los aprendizajes surge a través de presiones selectivas que originan capacidades evolutivas específicas siendo la cognición matemática un resultado de dichas presiones (Ginnobili, 2010). De este modo la cognición matemática estaría determinada por configuraciones preescritas a nivel fenotípico generando un conjunto de funciones más adaptativas a un mundo que preexiste con independencia del sujeto, ya que han sido naturalmente seleccionadas para fines específicos y la enculturación sólo cumpliría un papel desencadenante (Viswanathan & Nieder, 2013).

Asumir que el número es propiedad exclusiva del mecanismo de selección natural implica reducir el acto semántico de la configuración del número a un nivel genético y por lo tanto, con presencia universal en todos los seres humanos con independencia de la cultura (Nieder, 2017). Esta tesis fundada en los experimentos derivados del subitizing (Clark & Grossman, 2007; De Hevia et al., 2014) dio origen a un conjunto de investigaciones nativistas adscritas a fundamentos filogenéticos por sobre ontogenéticos para explicar la naturaleza del número. El subitizing es una habilidad innata para discriminar cantidades restringidas a observaciones de numerosidades de 3 a 5 objetos presente en seres humanos como en otras especies animales no humanas (Clark y Grossman, 2007).

Dehaene (2011) a través de técnicas de alta resolución espacial como es la Tecnología por Emisión de Positrones (PET) y estudios con Resonancia Magnética Funcional (fMRI) evidenció que los seres humanos poseen un sentido numérico innato que les permite procesar información numérica a partir de la integración dinámica de regiones especializadas asociadas al lenguaje en el reconocimiento de números y regiones visuales no especializadas para mapeos espaciales de cálculo aproximado. Este sentido numérico operaría en dos dimensiones, una consciente donde los niños conceptualizan las notaciones matemáticas a través de las áreas del lenguaje y otra inconsciente asociada una estructura protomatemática ubicada en el lóbulo parietal izquierdo que otorgaría el sustrato intuitivo para sostener los

conceptos matemáticos (Dehaene, 2014).

Diversos psicólogos evolutivos y neopiagetianos comenzaron a realizar experimentos con bebés a temprana edad, evidenciando que éstos pueden realizar mapeos espaciales, estimaciones y operaciones aritméticas. Wynn (1992) reportó a través de experimentos en constancia y permanencia de objetos que los bebés a los 4 meses y medio, exhiben conductas de comprensión aritmética rudimentaria del tipo "uno más uno es dos" y "dos menos uno es uno". Por otra parte, (Spelke, 2011) evidenció que el mapeo numérico espacial, el cual consiste en ubicar números en la recta numérica, se inicia primitivamente en los niños como una representación logarítmica y que a través de la mediación educativa ésta cambia a una representación lineal que facilita la comprensión. Dehaene-Lambertz y Spelke (2015) mostraron que las representaciones que los niños se hacen de los números están vinculadas a representaciones de las cantidades espaciales, especialmente de longitud, de modo que éstas apoyan el descubrimiento universal y el uso de rectas numéricas que configuran el significado matemático del número.

En la misma senda evolutiva, Nieder (2017) plantea que el número es una facultad determinada exclusivamente por la selección natural a partir de los mecanismos de adaptación y exaptación. La adaptación permite a través de presiones selectivas ante ciertos escenarios desencadenar un conjunto de funciones más aptas según su finalidad. Por otra parte, la exaptación corresponde a un proceso flexible en la evolución del linaje, la cual permite cambios en las funciones de rasgos, que en un principio estaban dirigidos por adaptación a otras funciones y que en la actualidad coaptan para otras. Aun cuando la propuesta resulta interesante, ambos mecanismos obedecen a límites estrictos de la selección natural e información heredable genéticamente. Más aún, la mayoría de estas investigaciones nativistas sobre cognición matemática a temprana edad en humanos y en animales principalmente en chimpancés entrenados, ha sobrevalorado y mal entendido la habilidad de discriminación de cantidades y la representación mental del número en la recta numérica como presupuesto biológico innato y universal de la especie humana en la constitución del significado matemático (Núñez, 2008).

El significado matemático del número surge de la relación con otros y varía según contextos socioculturales, por lo cual, no existe tal protomatemática o habilidades prenuméricas innatas

que determinen el origen de éste. Aun cuando, las habilidades tempranas de discriminación de cantidades requieren de precondiciones biológicamente evolucionadas para realizar la operación de discriminar, no son en sí misma matemática, ya que ésta es un producto cultural que se da en la ontogenia y requiere además del cumplimiento de propiedades básicas asociadas a operatividad, ordinalidad y cardinalidad (Núñez, 2017). El mecanismo de selección natural que se funda en una lógica teleológica implícita, sólo establece la preferencia e intención de una sobrevida diferencial, la cual explica el cambio de la conducta de aprendizaje a partir de una competencia como performance adaptativa, minimizando la influencia del contexto sociocultural y por ende de las interacciones que surgen allí (Maturana y Mpodozis, 2000).

El mecanismo que da origen a la sobrevida diferencial no es selectivo, sino más bien está ligado a otros procesos biológicos más básicos llamados deriva natural y coderiva ontogénica, los cuales se desprenden de la concepción de ser vivo entendido como sistema autopoiético (Maturana, 2011). La deriva natural consiste en el devenir de cambios estructurales acoplados al flujo del vivir, en la cual se conservan la organización y adaptación del organismo en y con el contexto. Por otra parte, la coderiva ontogénica corresponde a la interacción continua de dos o más organismos que siguen cursos de cambios congruentes en la medida que conservan también su organización y adaptación (Maturana y Mpodozis, 2000). De esta manera, el significado matemático del número no depende de un sentido numérico innato de discriminación de cantidades y de mapeos numéricos espaciales, menos puede quedar reducido a predeterminaciones filogenéticas por sobre ontogénicas.

El significado matemático del número surge en el devenir del organismo en y con el contexto a través de un flujo continuo respectivamente biológico-culturales en la ontogenia. Este nivel de correspondencia, se traduce en que la biología puede llegar a restringir los cambios culturales y a su vez la cultura limitar los cambios biológicos, de modo que las prácticas culturales humanas pueden incluso modificar el genoma mismo producto de la historia de acoplamientos estructurales (Núñez, 2017). La evolución por deriva natural y coderiva ontogénica trasciende los límites verticales restringidos de la selección natural, ya que el aprendizaje puede tomar diversas direcciones producto de la enculturación a individuos no relacionados genéticamente. De este modo, el significado matemático del número estaría

condicionado al devenir estructural del organismo acoplado al contexto en el cual se despliega (Mpodozis y Maturana, 2000).

## **2. Hacia una ecología cognitiva del significado: la urdimbre entre cerebro, mente, cuerpo y cultura.**

La deriva natural proporciona un marco explicativo interesante para comprender la emergencia del significado cuando se urden cerebro, mente, cuerpo y cultura (Noë, 2010). Desde esta perspectiva, el estatus del significado como condición exclusiva del cerebro es rechazado, así como también la visión estructuralista de un significado reposado objetivamente en las cosas. La perspectiva más bien adoptada aquí es ecológica, pues incorpora la historia individual de todo ser vivo, la cual se constituye como un flujo de cambios estructurales que deviene producto de la historia de interacciones en y con el contexto (Maturana y Mpodozis, 2000). De este modo, el significado es un producto del involucramiento orgánico del ser humano en el ambiente, el cual se genera a partir de coherencias operacionales de tipo moleculares, sensoriales, relacionales y viceversa (Maturana y Dávila, 2015). Esta dimensión circular de coherencias y transformaciones constituye la base biológica mínima para la realización del organismo, cuyo nicho ecológico de acoplamientos históricos en y con el contexto modula la actividad cognitiva de todo el sistema (Maturana, 2011).

La cognición aquí es caracterizada por la agencia del cuerpo en el entorno, en tanto que el espacio que usurpa no se comprende en medidas geométricas, sino más bien, según contextos de uso (Froese, 2011). El sustrato agencial del organismo en y con el mundo es generado por el entrelazamiento del cerebro, la mente, el cuerpo y la cultura. Aquí el todo se encuentra siempre en una metarelación con sus partes (Bateson, 1972), de modo que el sistema nervioso modifica lo que aprendemos, así como también lo que aprendemos modifica el sistema nervioso. En este sentido el significado que emerge del aprendizaje no está dentro, ni fuera del organismo, sino más bien, en la interacción.

“De vez en cuando, despierto sobresaltado a un estado superior de alerta: doblo a una esquina, veo el mar y el corazón me da un vuelco de felicidad, ¡se siente tan libre! Luego tengo la noción de que, además de ser yo quien contempla, otros me pueden contemplar desde lejos

y que no soy un objeto discreto, sino que estoy incorporado al resto, al zafiro universal, azul violáceo. Porque ¿qué hacen este mar, esta atmósfera, en el diámetro de ocho pulgadas del cráneo? En el centro del perceptor tiene que haber espacio para acompañar el todo, y ese espacio vacío no es una nada vacía, sino una nada reservada para todo” (Bellow, 1996: 313)

De lo expuesto anteriormente, se ilustra de manera poética el enlace que hay entre el todo y las partes, no hay un mundo de significados dentro y fuera de la cabeza que surja con independencia, sino más bien, emerge en el encuentro del cuerpo en y con la cultura, producto de una historia de respectividades biológica-culturales (Noë, 2006). En el caso de la educación matemática, el aprendizaje y la configuración del significado matemático corresponden a productos de un sistema que incluye prácticas culturales, hábitos de asistir, maneras de usar el cuerpo en interacción con los entornos materiales y sociales. Es por esto, que una ecología cognitiva considera que el aprendizaje es una propiedad acoplada estructuralmente de todo el organismo, es decir cerebro-mente-cuerpo-cultura gestan el significado matemático a partir de una red compleja de eslabonamientos imposibles de reducir a algún subsistema aislado de los demás (Froese y Fusch, 2012). Esta red elucidaría un círculo creativo de coherencias en diversos estratos materiales e inmateriales que dependerían de leyes universales regidas a nivel biológico-cultural.

Thompson (2016) sostiene que los cuatro enfoques provenientes de la cognición corporeizada: a) embodied o encarnada b) embeded o incrustada c) extended o extendida d) enactive o enactiva, dan cuenta de una ecología cognitiva. De esta manera, cualquier intento por comprender y explicar cómo se configura el significado durante procesos formales e informales de enseñanza-aprendizaje, debe cautelar no separar lo biológico-cultural del ser humano. Una ecología cognitiva corresponde a la encarnación de la cognición dentro de un sistema integrado, en el cual las interacciones entre la persona, el ambiente físico y el ambiente social, permiten la emergencia del aprendizaje y por ende su el significado asociado. En el caso de la educación matemática a luz de los hallazgos en ciencias cognitivas, estos enfoques se consideran fundamentales para entender cómo el significado matemático emerge en el devenir de cambios estructurales acoplados al flujo del vivir. Estos cambios estructurales están sujetos a cómo el organismo se urde en la trama cerebro, mente, cuerpo y cultura.

La cognición encarnada considera que el hecho de disponer de dos ojos, dos oídos, una cabeza, un esqueleto, músculos, dos manos y dos pies posicionados de la manera en que se encuentran, responde a un todo acoplado estructuralmente, cuya agencia del organismo hacia él y los otros, modula la experiencia cognitiva de todo el organismo (Gallagher, 2005) La percepción de los objetos físicos del mundo en tres dimensiones a partir de una visión binocular, difiere según si el cuerpo se mueve activamente en relación con el flujo óptico o se mueve pasivamente en relación con el estímulo (Gibbs, 2008). Tal como plantea Noë (2004) la percepción no es algo que sucede en nosotros, es algo que hacemos. En vez de existir un módulo cognitivo central y amodal, los fenómenos cognitivos emergen de una variedad de procesos encarnados de tipo afectivos, perceptivos y motores (Thompson, 2007). En la cognición incrustada, la cultura dirige la actividad cognitiva del sistema nervioso en la medida que el montaje del cuerpo se acopla distribuidamente en el contexto (Clark, 2008). Para el caso de la cognición extendida, se asume que el cerebro humano está adaptado al ambiente de la cultura simbólica y no puede funcionar correctamente a menos que esté incrustado, ya que la experiencia cognitiva resulta de la agencia en y con el mundo. Los procesos de memoria biológica y cultural constituyen un sistema cognitivo híbrido y extendido que resultan del devenir histórico de los seres humanos.

En la enacción, el mundo surge a partir de un acoplamiento sensoriomotriz en el cual, para cada distinción sensorial, existe una distinción de estados sensoriomotores (Froese y Di Paolo, 2011). El enfoque enactivo de Varela, Thompson y Rosch (1991) se basa en que la percepción es acción guiada perceptivamente y las estructuras cognitivas emergen a partir de modelos sensoriomotores recurrentes que permiten que la acción sea guiada perceptivamente. Desde este enfoque no hay un mundo pre-dado con independencia del sujeto que opera en él. La acción del perceptor es modulada por su agencia en el mundo natural y la representación ya no es un escenario plausible en la cognición (Noë, 2010). Al respecto, el significado que surge desde el compromiso enactivo del ser humano en el contexto se dá desde el hacer, en el sentido que cada flujo de acciones motoras es un proceso dinámico de interacción con el objeto, los otros y el contexto en que se enmarca la acción. Por ejemplo, la acción de martillar hace al martillo. La operación de martillar conserva un grupo de acciones de manera distinta según los tipos de especies y en la medida que se está martillando, surge espacio de acciones que depende de la operación de martillar y que además

permite nuevas acciones y nuevas operaciones. Según esta secuencia histórica, el acto de martillar, no sólo transforma al martillo, sino que también al que martilla y lo martillado. Es decir que la transmisión de las diferencias que implica el acto de martillar son ecológicas y no dependen de grupos selectivos de neuronas más aptas para adaptarse a un mundo fijo e inmutable. De este modo, la emergencia de acciones que surgen del operar del sistema nervioso resultan concomitantes al contexto que lo posibilita y por ende el significado que surge es siempre dinámico y flexible.

Estos fundamentos de la cognición encarnada permiten dar cuenta de una ecología cognitiva en el sentido que la experiencia es modulada por sistemas corporales en tanto despliegan movimientos coordinados en y con el contexto. El significado que emerge de esta encarnación no puede ser entendido fuera de este ámbito operacional ecológico organismo-nicho (Maturana y Dávila, 2015). La evidencia contemporánea de la ecología cognitiva es sólo una reafirmación de una enorme comprensión que las culturas indígenas transmitieron a través de su sabiduría ancestral reportado en estudios arqueológicos y antropológicos.

### **3. Ecología cognitiva: evidencia antropológica del significado.**

Una ecología cognitiva que aspira a una comprensión del significado como una relación indisociable entre cerebro, cuerpo y cultura, debe incorporar sólidos fundamentos antropológicos. La cognición corporeizada del aprendizaje actual, no es nada menos que una reafirmación empírica de lo que las culturas indígenas ancestralmente ya sabían. Las diferentes etnias en su acervo cultural conservaron un conjunto de ritos y tradiciones que situaron al hombre como organismo indisociable del contexto, ya que el espíritu del hombre era el espíritu de la naturaleza. La evidencia actual, data de estudios antropológicos que evidenciaron el potencial cognitivo que desplegaron los indígenas en su intento natural de acoplarse al contexto (Hutchins, 1995). El desarrollo cognitivo-cultural de las culturas indígenas se basó en una ecología cognitiva donde el mapa no era más importante que el territorio (Bateson, 1972).

Uno de las culturas estudiadas por los científicos cognitivos y antropólogos fue la de los indígenas baquianos de la micronesia debido a su sorprendente habilidad de navegación sin

el uso de brújulas, sextantes y matemática formal de cartografía marina para recorrer toda la micronesia y polinesia (Davis, 2015). Estos indígenas eran expertos navegantes sin haber recibido ningún tipo de educación formal, sólo el legado de enseñanzas de la sabiduría ancestral de sus maestros (Hutchins, 1995). Los indígenas baquianos de la polinesia habían cultivado las experiencias de aprendizaje de sus ancestros, quienes, a través la comprensión del mundo natural (Davis, 2015) habían realizado la mejor lectura del mundo, la de la naturaleza. Aquí una descripción del potencial cognitivo de los indígenas baquianos:

El mayor maestro indígena en navegación fue Mau Pialug, un avezado baquiano de las Islas Carolinas de la Micronesia, hijo y nieto de navegantes, el océano era para él su universo. Mau al año fue escogido para continuar el legado de sus ancestros como navegante. Para esto, tuvo que vivir algunos ritos desde pequeño para dominar los futuros embastes del mar:

“Al año como parte de su capacitación fue puesto durante horas enteras en medio de charcas de marea para que sintiera y asimilara los ritmos del mar. Cuando tenía ocho años de edad, el oleaje lo marcó durante su primer viaje en aguas profundas, la solución por la que optó su maestro fue atarlo a una cuerda y arrastrarlo tras la canoa hasta que la náusea cesara. Muy joven, con apenas catorce años, se ató los testículos a las jarcias de la embarcación para percibir con extrema atención el movimiento de la canoa a través del agua. Mau aprendió no solo a navegar a vela, sino también, a comprender los secretos de las grandes aguas, tanto la física como la metafísica de las olas. Se decía que él podía hacer aparecer islas de la mar con imaginarlas en su cabeza” (Davis, 2015:15).

Gran parte de estas prácticas transmitidas ancestralmente fueron esenciales para que Mau realizara una comprensión del mundo a partir de la incrustación de su cuerpo en y con el contexto (Keller et al., 2011). A partir de la corporeización del mundo natural a muy temprana edad, la experiencia y el significado que Mau configuró, corresponde a un alto compromiso enactivo del mundo (Varela, 1987). Su capacidad para navegar la polinesia estaba mediada por mapeos espaciales para transitar terrenos geográficos extensos, los cuales requerían de una alta capacidad de memoria, planificación y habilidades motoras que permitieran encarnar la geometría del lugar.

La navegación humana ha basado su práctica en un sistema de coordenadas geográficas, las

cuales no sólo permiten especificar la ubicación del punto de partida y el destino, sino que también permite una fácil determinación de rutas mediante cálculos gráficos o numéricos (Hutchins, 1984). Sin embargo, los baquianos de la micronesia, no utilizan ningún instrumento formal, sólo se guían por las claves que les otorga la naturaleza al estar encarnados en ella. El hecho de que los indígenas baquianos pudieran cruzar la micronesia sin ningún instrumento de navegación, más que su propia experiencia vivida del lugar, proporciona fundamentos sólidos a la cognición corporeizada y por ende a una ecología cognitiva.

Las nubes de color marrón, la bóveda del cielo, el mar, un tiburón pardo que nada a remolón un ave separada de su bandada, un charran blanco, la tiñosa común, la fosforescencia y restos de plantas en el mar, la salinidad, el sabor y la temperatura del agua, la manera como nada un pez espada, la ritmicidad y amplitud de las olas, fueron las claves de la naturaleza que incorporaron como significados los indígenas de la micronesia producto de su compromiso enactivo en y con el mundo (Davis, 2015). Esta historia de acoplamientos estructurales, reafirma el acuerdo de dos presencias, el círculo continuo de transformaciones que vibran en plena respectividad en la cual se urden cerebro, mente, cuerpo y cultura (Groz, 2015). La exploración, la intuición y sobre todo el mapeo espacial son recursos cognitivos indispensables a la hora de sobrevivir en la naturaleza.

El mapeo espacial consiste en la exploración, reconocimiento e integración de información visual a partir de un marco de referencia espacial (Hollan & Hutchins, 2009). Durante la navegación, los objetos dentro de este espacio incluyen ubicaciones específicas, mientras que otros objetos más lejanos son posibles sólo imaginarlos en la mente del baquiano a través del mapeo y cálculo estimativo de patrones de la naturaleza (Hutchins, 1984).

Considerando los estándares de navegación formal, el contexto de los indígenas baquianos era bastante empobrecido, sin embargo, cuando éstos usurpaban el océano jamás se perdían en el viaje, ya que las señales de la naturaleza surgían como piezas fragmentadas de información, las cuales a través de mapas mentales articulaban los trazos del camino ya recorrido (Hutchins, 1995). Los indígenas baquianos eran capaces de reconocer hasta 220 estrellas y la mayoría de las constelaciones, además la tripulación contaba con docenas de hombres que registraban el ancho y los colores del sol, mientras se desplazaba su luz y

sombra sobre el agua dejando un rastro que orientaba y avivaba el camino (Davis, 2015). La comprensión del viaje se experimentaba en función de una canoa estacionaria y un mundo en movimiento, en donde a partir de una isla de referencia fuera de la vista, les permitía orientarse y no olvidar el camino (Hutchins, 2012). Las islas aparecían con los movimientos relativos del viaje mediante el trazado de la posición de las islas pasadas, cuyo registro dependía de la integración de la velocidad y el tiempo que daba cuenta de la distancia recorrida, procedimiento también conocido como cálculo absoluto. De esta manera, el significado que los indígenas asociaban a las claves de la naturaleza correspondía a modos particulares de encarnación, donde la emergencia de éste, era atribuible a la coordinación de la exploración visual y la navegación marina, incorporando de manera ecológica la mayor cantidad de patrones.

#### **4. Metáforas conceptuales: aproximación ecológica al significado matemático encarnado.**

La vida conceptual y el significado derivado de ésta comienza en términos espaciales y motores propios de la experiencia corporal en la cultura (Johnson, 1987). De esta manera, la disposición peculiar del cuerpo genera posibilidades de conceptualización y categorización. Johnson y Lakoff (2003) han considerado que el mecanismo específico que articula la experiencia encarnada y el pensamiento conceptual es la metáfora. Las metáforas conceptuales surgen en el despliegue del cuerpo en el mundo a través de la experiencia común, por lo cual disponen de un sustrato sensoriomotor que permite enlazar la vida con la comprensión de conceptos abstractos. Por otra parte, las metáforas dicen y muestran muchas cosas, debido a que son altamente situadas y por lo tanto cada persona establece una resonancia semántica a partir de la emergencia de imágenes, sonidos, olores e ideas alusivas a su propia experiencia con los conceptos (Cornejo, Olivares y Rojas, 2013). En esencia, las metáforas conceptuales permiten comprender e interpretar una cosa en términos de otra y su estatus ontológico corresponde a experiencias cotidianas donde el uso del propio cuerpo sirve como vehículo y orientación del significado (Lakoff, 2008).

Gran parte de la manera en que se estructuran las actividades cotidianas dependen del uso de metáforas, ya que poseen una base biológica-cultural que provee ecológicamente pensamientos, movimientos y acciones como resultado de una historia de acoplamientos

estructurales en y con el contexto. Por ejemplo, “la riqueza intuitiva de una teoría científica está en lo bien que encajan las metáforas con la experiencia” (Lakoff, 2008:45). En el caso de la matemática como una de las disciplinas científicas más difíciles de aprender y enseñar debido a su alto contenido simbólico y conceptual, requiere de metáforas para su desarrollo comprensivo (Soto-Andrade, 2007).

La educación matemática en la escuela ha sido tradicionalmente enseñada mediante sistemas conceptuales basados en notaciones simbólicas abstractas, desacoplando de esta manera la coherencia ecológica entre el cerebro, la mente, el cuerpo y la cultura en la comprensión de conceptos (Núñez, 2011). Para evitar lo anterior, la propuesta de una ecología cognitiva del significado matemático facilitaría la comprensión de conceptos abstractos a partir de la articulación de la experiencia cotidiana con los contenidos matemáticos. Al preguntarse ¿de qué manera se encarna la cognición matemática en el contexto? ¿cuáles son las bases corporales del sistema conceptual que usamos para pensar matemáticamente? Una respuesta interesante que surge desde la cognición corporeizada para favorecer una ecología cognitiva del significado es la metáfora conceptual (Lakoff y Núñez, 2000).

El sistema conceptual cotidiano por el cual se piensa y actúa es fundamentalmente de naturaleza metafórica, de modo que el vínculo entre el ser cotidiano y la valoración del territorio es imprescindible en todo sistema educativo que aspire a que sus escolares comprendan significativamente los conceptos matemáticos (Giannini, 1987). En el caso de la educación matemática, gran parte de los docentes continúan privilegiando el tratamiento de los contenidos matemáticos de manera abstracta y por ende desprovistos de sentido y lejanos de la experiencia de los niños y niñas, perpetuando así la pertinencia de éstos a un mundo inauténtico. Desde una perspectiva ecológica cognitiva del significado matemático, las metáforas conceptuales configuran disposiciones afectivo-cognitivas de la experiencia en movimiento que facilitan la articulación entre la experiencia cotidiana y los contenidos matemáticos (Soto-Andrade, 2013).

La emergencia del significado matemático situado contextualmente, transita desde un dominio fuente o concreto asociado a la experiencia cotidiana, hacia un dominio objetivo o abstracto vinculado al lenguaje técnico que implica el asunto temático (Lakoff y Núñez, 2000). Para ilustrar de mejor manera la estructura inferencial del dominio fuente al dominio

abstracto, se presentan a continuación algunos casos. Pesci (2003) reportó la presencia de algunas metáforas conceptuales en profesores de enseñanza básica en el acercamiento de los niños con la aritmética, por ejemplo, la comprensión de los números como colecciones de objetos, el cero como una caja vacía, la ecuación como un sistema en equilibrio y la función lineal como una máquina que toma un número, funciona en él y luego produce otro número. Estas metáforas conceptuales se utilizan en clases de matemáticas con el objetivo de que los niños y niñas a temprana edad articulen su lenguaje experiencial o cotidiano con el lenguaje técnico del profesor. La sucesión de continuas articulaciones del lenguaje experiencial hacia el lenguaje técnico es un modo particular de urdir la trenza cognitiva corpóreo-social.

Para el caso del tratamiento de las funciones no-lineales en estudiantes de enseñanza media, los profesores utilizan recursos metafóricos cuando hablan de abscisa como un eje horizontal y de ordenada como un eje vertical, además incorporan el movimiento ficticio de las manos para explicar la posición original de una recta tangente a la curva, seguido del movimiento ascendente de sus dedos que se desplaza, situación que ejemplifica la estructura inferencial de comprender una función como un camino que se recorre (Font y Acevedo, 2003). Otra situación similar sucede en la enseñanza de fracciones, donde el número mixto se connota en la mano derecha como un entero y los dedos de su mano izquierda aluden a la parte fraccionaria (Edwards, 2005). Desde esta perspectiva, el gesto aparece como elemento motor expresivo de expansión de sentido, que por lo demás se vuelve para los niños y niñas más fácil de incorporar a su repertorio de acoplamientos sensoriomotores.

Para el caso de la recta numérica, se comprende metafóricamente como estar moviéndose en un largo camino, en donde la experiencia física de trasladarse a un lugar determinado a partir de un punto origen designado como cero, implica que si se avanza hacia la derecha es posible encontrar números más grandes y si se avanza hacia a la izquierda se hallarán números más pequeños (Lakoff y Núñez, 2000). Aquí, el significado matemático se abstrae a partir de la experiencia de movimiento del cuerpo, ya que gran parte de la inferencia conceptual es proyección de inferencia sensoriomotora del tipo metáfora orientacional. Del mismo modo, las operaciones aritméticas se encuentran asociadas a metáforas orientacionales, ya que la adición es entendida como avanzar y la resta es como retroceder. También se pueden encontrar metáforas conceptuales contenedoras, donde es posible reconocer la adición como

juntar y la sustracción como quitar (Gálvez et al., 2011). Otro caso de metáfora conceptual es la multiplicación, la que se ha comprendido como injertar ramificaciones o suma iterada (Soto-Andrade, 2014). Existen bastantes metáforas con las cuales es posible configurar el significado matemáticos de diversos conceptos matemáticos y en distintos niveles de escolaridad. La familiarización de las experiencias cotidianas con los conceptos abstractos de los contenidos matemáticos brinda una ecología cognitiva del significado matemático. Cautelar transferencia y trascendencia del significado matemático en la escuela a otros contextos de uso, requiere de la integración con otros contenidos temáticos de otras disciplinas que amplíen la comprensión de éstos.

El interés por una ecología cognitiva del significado en la educación matemática está en ahondar y rescatar el modo sensible de ser cotidiano para facilitar la comprensión de conceptos abstractos. La manera de concebir la enseñanza de las matemáticas como verdades absolutas independientes del sujeto que las construye es antiecológica, por lo cual, si se pretende articular el mundo natural de las experiencias cotidianas con el mundo formal de las matemáticas, debe sustituirse la noción de verdad por la de hecho, la cual involucra orgásmicamente la relación entre el cerebro, la mente, el cuerpo y la cultura de quien las vive. No hay un mundo allá afuera independiente del sistema nervioso en su despliegue y encarnación. Las metáforas como disposiciones cognitivo-afectivas delimitan el devenir de cuerpo en el territorio, permitiendo configurar la experiencia de significado matemático a partir de la coordinación de estados corporales dinámicos en plena respectividad con la cultura.

##### **5. Entorno STEM: una propuesta ecológica cognitiva para la configuración del significado matemático en la escuela.**

Una ecología cognitiva del significado matemático es algo comprensible de suyo, en el sentido que su propio existir surge del propio responder situado ecológicamente, es decir, en y con el contexto. Es menester considerar que el aprendizaje y el significado que se configura pasa todos los días y este modo de pasar se connota a partir de la vida pasajera de lo cotidiano. La escuela, la casa, la calle, el patio y el trayecto convenido que los conecta, conjugan un espacio en el cual el cuerpo deviene vivido, dinámico y flexible, en tanto lo cotidiano del pasar, va provisionando el lenguaje experiencial y el significado que emerge no es más que

una correspondencia ecológica.

Este pasar en la vida cotidiana alude a lo que repentinamente se configura en el curso de la existencia, es lo que irrumpe con novedad y aquello que, en su transitoriedad, dinamiza y moviliza el pensamiento como acción situada. En la escuela, particularmente en el aula de clases, este pasar se ve truncado producto de la linealidad del currículo de aprendizajes y la parcela disciplinar del conocimiento asociado a la enseñanza según asignaturas. En el caso de la educación matemática, ésta se enseña como si no tuviera nada que comunicar de la biología, la tecnología, el arte y el lenguaje, de modo que el aprendizaje que surge se da en un mapa que no necesariamente es un territorio (Araya, 2016). Por lo tanto, el significado matemático se vuelve desacoplado del cuerpo y desarticulado del mundo vivido. A partir de esto y en plena coherencia con los fundamentos de la ecología cognitiva, se sugiere utilizar metáforas conceptuales como vehículos cognitivos que anclen el lenguaje cotidiano con el lenguaje técnico del aula de clases. También se propone integrar a diferentes asignaturas en el tratamiento de diversos asuntos temáticos, que les permitan a los estudiantes transferir sus conocimientos y configurar sus significados de manera profunda. Conectar los intereses, juegos y motivaciones correspondientes a las experiencias cotidianas de niños y niñas con los asuntos temáticos de las disciplinas, requiere de una metodología de enseñanza no-lineal, basada en el descubrimiento, exploración y cooperación como sustrato basal de la encarnación del aprendizaje. Al respecto, Science Technology Engineering Math (STEM) provee un escenario ecológico importante para favorecer la comprensión a partir de un aprendizaje profundo.

El entorno STEM proporciona un escenario educativo basado en la cooperación entre estudiantes. Facilita la integración de disciplinas como ciencias naturales, matemáticas y tecnología con el objetivo de articular las experiencias cotidianas de los niños y niñas con los conocimientos temáticos. Para esto, se escogen los contenidos a cubrir curricularmente acordes a cada una de las disciplinas, luego se sondean los intereses de los niños y niñas y se proponen situaciones de aprendizajes que les permitan a los estudiantes, tanto como los profesores, profundizar el conocimiento sobre lo definido a tratar temáticamente. Por ejemplo, si el objetivo de aprendizaje es construir medios de transporte marinos, “cuando se utiliza una tecnología para el diseño de un bote, no se hace conexión alguna con la física de

la flotación ni la matemática para calcular su resistencia a diferentes cargas” (Araya, 2016:4). En este aspecto, el potencial cognitivo que los estudiantes pueden incorporar al integrar las diversas disciplinas en la comprensión de asuntos temáticos, es inimaginable, situación deseada por una educación pensada ecológicamente. Tanto las metáforas conceptuales sirven de puente para unir el lenguaje técnico de los conceptos temáticos de las disciplinas con el lenguaje experiencial de los estudiantes, sin embargo, para conectar los conocimientos de las disciplinas entre ellas, el uso del modelamiento matemático es fundamental. El modelamiento matemático es la conexión de base a cualquier intento de explicar el mundo natural, ya que permite transferir y simplificar la complejidad de un sistema a partir de estrategias basadas en el uso de patrones y álgebra o representaciones pictóricas y concretas (Proulx, & Simmt, 2013).

El proceso de transferencia entre un conocimiento y otro va modulando el aprendizaje y la configuración del significado matemático de manera no-lineal, es decir que sus estados cambian como resultado de la cooperación entre pares. También el compromiso enactivo que tiene su acoplamiento sensoriomotriz con la tarea, así como el grado de profundidad que se logre al vehiculizar sus experiencias cotidianas con el contenido temático en tratamiento. De esta manera el significado matemático emerge en plena resonancia de su historia encarnada durante el tránsito del entorno STEM. El uso de metáforas como el modelamiento matemático crecen a través de la participación en una tarea, así la aparición de habilidades metacognitivas con el tiempo surge del flujo de acciones motores y dan cuenta de un invariante de orden superior que emerge a partir de la interacción ambientalmente acoplada (Hutto, Kirschhoff y Abrahamson, 2015).

## **Conclusión**

La manera en que actualmente se ha entendido el significado matemático desprovisto del sustrato corporal y la agencia en y con el contexto, solo ha restringido el modo en el cual se comprende el mundo de las matemáticas. Tal como hemos descrito a lo largo del texto, nuestra propuesta tiene una orientación totalmente opuesta a la expuesta anteriormente y esto se debe a la adscripción de un nuevo enfoque de la cognición y el aprendizaje que se basa en una ecología cognitiva. Adoptamos la ecología cognitiva a partir de una propuesta evolutiva que va más allá de la selección natural, es decir la deriva filogénica natural, la integra la

evidencia antropológica y cooperativa para fundamentar la necesidad de mirar el significado matemático a partir de un compromiso enactivo del cuerpo en y con el contexto situado. Considerando todos estos fundamentos, proponemos que el significado matemático emerge a partir del acoplamiento sensoriomotor del organismo, donde las coherencias moleculares, sensoriales y relacionales posibilitan una ecología de la cognición. Esta nueva propuesta, obliga a remirar el proceso de enseñanza-aprendizaje durante la práctica educativa, así como también cuestionar el paradigma escolarizante que aún tiene presupuestos cognitivos de base centrados en una mente funcionalista. Proponemos que el entorno STEM en su núcleo cooperativo, enactivo e integrador, permite desarrollar una ecología cognitiva de la educación matemática, la cual facilitaría la comprensión de conceptos abstractos a partir de la configuración de un significado matemático altamente encarnado y situado.

## Referencias

- Araya, R. (2016). STEM y Modelamiento matemático. *Revista Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, (15) 291-317.
- Bellow, S. (1996). *El Legado de Humboldt*. Penguin Books.
- Bateson, G. (1972). *Steps to an ecology of mind*. New York: Balentine Books.
- Clark, A. (2008). *Supersizing the mind: embodiment, action, and cognitive extension*. Oxford: Oxford University Press.
- Clark, R. y Grossman, M. (2007). Number sense and quantifier interpretation. *Topoi*, 26 (1), 51-62.
- Cornejo, C., Olivares, H., & Rojas, P. (2013). The physiognomic and the geometrical apprehensions of metaphor. *Culture & Psychology*, 19, 484–505.
- Davis, W. (2015). *Los guardianes de la sabiduría ancestral su importancia en el mundo moderno*.
- Dehaene, S. (2008). *The Number Sense: How the Mind Creates Mathematics*, Second Edition (Oxford University Press).
- Dehaene, S., Izard, V., Spelke, E., and Pica, P. (2008). Log or linear? Distinct intuitions of the number scale in Western and Amazonian indigene cultures. *Science* 320, 1217–1220.

- Dehaene, (2011). *Apprendre à lire. Des sciences cognitives à la salle de classe.* Odile Jacob.
- Dehaene, S. (2014). *Consciousness and the Brain: Deciphering How the Brain Codes Our Thoughts* (Viking Press).
- Dehaene-Lambertz, G. & Spelke, E. (2015) The infancy of the human brain. *Neuron perspective* (88) 93-109.
- De Hevia, M., Izard, V., Coubart, A., Spelke, E., y Streri, A. (2014). Representations of space, time, and number in neonates. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111, 4809–4813.
- Edwards, L. (2005). *Metaphors and Gestures in Fraction Talk*, WG 1, *Proc. CERME 4*, <http://ermeweb.free.fr/CERME4/>.
- Font, V. & Acevedo, J. (2003). Fenómenos relacionados con el uso de metáforas en el discurso del profesor. El caso de las gráficas de funciones. *Enseñanza de las Ciencias*, 21, 3, 405-418.
- Froese, T., & Di Paolo, E. A. (2011). The enactive approach: Theoretical sketches from cell to society. *Pragmatics & Cognition*, 19 (1), 1-36.
- Froese, T., & Fuchs, T. (2012). The extended body: A case study in the neurophenomenology of social interaction. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 11 (2), 205-235.
- Gálvez, G.; Cosmelli, D.; Cubillos, L.; Leger, P.; Mena, A.; Tanter, E.; Flores, X.; Luci, G.; Montoya, S.; Soto-Andrade, J. (2011). *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa* 14 (1), 9-40.
- Gallagher, S. (2005). *How the Body Shapes the Mind.* Oxford: Oxford University Press.
- Gibbs, R. (2008) *The Cambridge Handbook of Metaphor and Thought.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Giannini, H. (1987). *La reflexión cotidiana: hacia una arqueología de la experiencia.* Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- Ginnobili, S. (2010). “La Teoría de la Selección Natural Darwiniana”, *Theoria*, 25(1), pp. 37-58.
- Groz, F. (2014). *Andar una filosofía.* Editorial Penguin Random House, Barcelona.
- Hutchins, E. & G. Hinton. (1984). Why the islands move. *Perception* 13:629-632. Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild.* Cambridge, MA: MIT Press.
- Hutchins, E., & Johnson, C. (2009). Modeling the emergence of language as an embodied collective cognitive activity. *Topics in Cognitive Science* , 1, 523 – 546.
- Hutchins, E. (2012). *Cognitive Ecology.* Topics in Cognitive Science.
- Hutto, D., & Kirchgoff, M., Abrahamson, D. (2015). *The Enactive Roots of STEM:*

Rethinking Educational Design in Mathematics. *Educ Psychol Rev.* 1-19.

Johnson, M. (1987) *The Body in the Mind: The Bodily Basis of Meaning, Imagination and Reason.* Chicago: University of Chicago Press.

Johnson, M., & Lakoff, G. (2003). *Metaphors we live by,* New York: The University of Chicago Press.

Keller, H., Borke, J., Lamm, B., Lohaus, A., & Yovsi, R. D. (2011). Developing patterns of parenting in two cultural communities. *International Journal of Behavioral Development*, 35(3) 233–245.

Lakoff, G y Núñez, R. (2000) *Where Mathematics Comes From: How the Embodied Mind Brings Mathematics into Being,* Basic Books.

Lakoff, G. (2008). *The Neural Theory of Metaphor.* In R. Gibbs (ed.), *The Cambridge Handbook of Metaphor and Thought.* Cambridge: Cambridge University Press.

Maturana, H. y Mpodozis, J. (2000). *Origen de las especies por medio de la deriva natural.* Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos.

Maturana, H. R. (2011). *Ultrastability ... autopoiesis? Reflective response to Tom Froese and John Stewart.* *Cybernetics & Human Knowing*, 18 (1-2), 143-152.

Maturana, H. y Dávila, X. (2015). *El árbol del vivir.* EditorialL, MvP Editores. Escuela Matríztica, Santiago de Chile.

Nieder, A. (2017) *Number faculty is rooted in our biological heritage.* *Trends Cognitive Science.* 21, 403–404.

Noë, A. (2004). *Action in perception.* Cambridge, MA: MIT Press.

Noë, A. (2006). *Experience without the head.* In *Perceptual Experience*, ed. T. Gendler and J. Hawthorne. Oxford: Oxford University Press.

Noë, A. (2010). *Fuera de la cabeza: por qué no somos el cerebro y otras lecciones de biología de la consciencia.* Editorial Kairos, S.A. Barcelona, España.

Núñez, R. (2008). *Mathematics, the ultimate challenge to embodiment: Truth and the grounding of axiomatic systems.* In P. Calvo & T. Gomila (Eds.), *Handbook of cognitive science: An embodied approach* (pp. 333–353). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.

Núñez, R. (2011) a. *On the Science of Embodied Cognition in the 2010s: Research Questions, Appropriate Reductionism, and Testable Explanations,* *Journal of the Learning Sciences*

Núñez, R. (2011) b. *No innate number line in the human brain.* *J. Cross Cultural Psychology.*

42, 651–668.

- Núñez, R. (2017) Is there really an evolved capacity for number? *Trends Cognitive Science*, 21, 409–424.
- Pesci, A. (2003). Could metaphorical discourse be useful for analysing and transforming individuals' relationship with mathematics ?, in A. Rogerson (ed.) *Proceedings of the six International Conference on Mathematics Education into the 21 century project, the decidable and the undecidable in mathematics* (pp. 224-230).
- Proulx, J., & Simmt, E. (2013). Enactivism in mathematics education: moving toward a re-conceptualization of learning and knowledge. *Education Sciences & Society*, 4(1), 59–79.
- Soto-Andrade, J. (2007). Metaphors and cognitive styles in the teaching-learning of mathematics. In D. Pitta-Pantazi & J. Philippou (Eds.), *Proceedings CERME 5* (pp. 191– 200).
- Soto-Andrade, J. (2014). *Metaphors in Mathematics Education*. In Lerman, S. (Ed.), *Encyclopedia of Mathematics Education*. Springer Reference. Berlin: Springer-Verlag.
- Spelke, E. (2011). Natural number and natural geometry. In *Space, Time and Number in the Brain: Searching for the Foundations of Mathematical Thought*, E. Brannon and S. Dehaene, eds. (Oxford University Press), pp. 287–317.
- Stillman, G.A., Kaiser, G., Blum, W., Brown, J.P. (2013). *Teaching Mathematical Modelling: Connecting to Research and Practice*. Ediciones Springer.
- Thompson, E. (2007). *Mind in life: Biology, phenomenology, and the sciences of mind*. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University.
- Varela, F.J. (1987). Lying down a path in walking. In W.I. Thompson (Ed.), *Gaia: A Way of Knowing* (pp. 48–64). Hudson, NY: Lindisfarne Press.
- Varela, F.J., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind: cognitive science and human experience*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Viswanathan, P. y Nieder, A. (2013). Neuronal correlates of a visual “sense of number” in primate parietal and prefrontal cortices. *Proc. Natl. Acad. Sci.*
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358, 749-750.
- Xu, F., Spelke, E. y Goddard, S. (2005). Number Sense in Human Infants. *Developmental Science*, 8 (1), 88-101.
- Yang, J. (2014). Influences of motor contexts on the semantic processing of action-related language. *Cog A Behav Neurosci* 14, 912–922.