

La perspectiva enactivista en educación matemática: todo hacer es conocer

María Dolores Lozano

Resumen: El presente artículo muestra la perspectiva enactivista (Maturana y Varela, 1984) como una alternativa teórica para investigar y esclarecer la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas. Se presentan las raíces biológicas de la teoría, incluyendo las ideas fundamentales de autopoiesis y determinismo estructural. Posteriormente se profundiza en el acercamiento de la teoría a la cognición como un fenómeno corporal, para después ejemplificar el uso de la perspectiva en el área. Finalmente se concluye invitando al lector interesado a utilizar las ideas expuestas para investigar, de manera compleja y tomando en cuenta una multiplicidad de dimensiones, los fenómenos relacionados con la educación matemática.

Palabras clave: enactivismo, autopoiesis, determinismo estructural, educación matemática.

Abstract: In this article I present the enactivist perspective (Maturana and Varela, 1984) as a theoretical alternative that can be used to investigate and clarify the teaching and learning of mathematics. The biological roots of the theory are introduced, including fundamental ideas such as autopoiesis and structural determinism. In addition, the theory's ideas on cognition as embodied action are discussed and some of its uses in mathematics education are exemplified. Finally, I conclude by inviting the reader to use the ideas exposed in order to investigate, in a complex manner and considering a multiplicity of dimensions, the phenomena related to the teaching and learning of mathematics.

Keywords: enactivism, autopoiesis, embodied cognition, mathematics education.

INTRODUCCIÓN

Existen numerosas perspectivas teóricas que, en el campo de la educación matemática, ayudan a esclarecer lo que sucede en el aula y fuera de ella cuando las personas aprendemos matemáticas. Por ejemplo, algunas de las perspectivas utilizadas en esta área son el constructivismo, la teoría sociocultural, la teoría de las situaciones didácticas, entre otras. Ante la multiplicidad de posturas teóricas, resulta importante conocer los fundamentos y usos de cada una con el objeto de que, por un lado, se utilicen de manera apropiada y, por otro, se establezcan lazos y relaciones entre las distintas teorías

Fecha de recepción: 22 de agosto de 2013; fecha de aceptación: 31 de octubre de 2013.

(Artigue et ál., 2005). En este artículo hablaré sobre la perspectiva enactivista (Maturana y Varela, 1984; Varela et ál., 1991; Varela, 1999), la cual ha guiado mi investigación en educación matemática anteriormente (e.g. Lozano, 2005; 2008). Si bien esta postura no es tan conocida y utilizada en educación matemática como lo son otras teorías, me parece que ofrece posibilidades interesantes para explicar los fenómenos educativos de manera enriquecedora. Comenzaré por dar algunos de los antecedentes de la teoría, hablando de sus raíces biológicas y explicando algunas de sus ideas fundamentales. Después centraré la discusión alrededor de las ideas que propone el enactivismo con respecto a la cognición como un proceso corporal, idea que en inglés se denota con el término *embodied cognition* y que puede traducirse como cognición corpórea, cognición “en-el-cuerpo” o encarnada. Finalmente daré algunos ejemplos de cómo ha sido utilizada esta perspectiva para explicar los procesos de enseñanza y de aprendizaje de las matemáticas.

ENACTIVISMO: IDEAS PROVENIENTES DE LA BIOLOGÍA Y LA TEORÍA DE SISTEMAS

El problema consiste en [...] demostrar cómo es que un organismo que existe en un medio y que opera adecuadamente a sus necesidades, puede atravesar un continuo cambio estructural de manera tal que permanece actuando adecuadamente en su medio aun cuando el medio esté cambiando. Muchos nombres se le pueden dar a esto; se le podría llamar *aprendizaje*. (Maturana, 1987, pp. 74-75; énfasis añadido, mi traducción)

El enactivismo es una teoría que proviene principalmente de las ideas de los biólogos chilenos Maturana y Varela (1984), quienes desarrollaron una perspectiva a la que denominaron *biología de la cognición*. Sus ideas tuvieron influencias de la cibernética –un marco conceptual desarrollado en la década de 1940 por un grupo multidisciplinario internacional–, así como de la teoría de sistemas. Maturana y Varela partieron de la base, presente ya en dichas perspectivas, de que un sistema, es decir, un conjunto de elementos que forman un todo, no puede explicarse en su totalidad a través de la descripción de sus partes o componentes. Es necesario tomar en cuenta la organización del todo para poder entender sus propiedades. Al estudiar la organización de los seres vivos y siguiendo en particular las ideas de Bateson (1979, 1987, 2000), los biólogos desarrollaron una caracterización de los organismos radicalmente distinta, que permite situar a la cognición en el centro de los procesos de la vida misma.

El cambio de perspectiva en relación a la percepción y a los procesos cognoscitivos en los organismos comenzó cuando, al estudiar la visión del color en las palomas –en la década de 1960–, Maturana encontró que era imposible considerar los colores como características pertenecientes a los objetos en el mundo (Maturana, 2002, p. 5). El inves-

tigador se vio forzado entonces a relacionar “el conocer” o “el saber”, con la manera en que los organismos están constituidos y con la interacción que tienen con el contexto (incluyendo otros organismos) (Ibíd., pp. 5-6). Maturana cambió la pregunta: *¿qué es lo que percibimos?*, por: *¿qué pasa en nosotros cuando percibimos?* Sus ideas acerca del conocimiento y del conocer cambiaron porque se percató de que no tenía sentido pensar en una realidad externa al sujeto dado que todo está configurado por lo que somos y lo que hacemos. En el momento en que pensamos o percibimos que hay algo “allá afuera”, en ese instante ya es parte de nosotros. Es imposible saber qué hay en el mundo sin “contaminarlo con nuestra observación” (Maturana, 1992).

Al constatar que resulta problemático hablar de una realidad “externa” al sujeto, y que el proceso del conocer depende de cómo se encuentran constituidos los organismos, Maturana y Varela (1992) desarrollaron el concepto denominado *autopoiesis*, mismo que les permitió caracterizar a los seres vivos de una manera diferente a las existentes en ese momento y así desarrollar una importante teoría del conocimiento.

AUTOPOIESIS Y DETERMINISMO ESTRUCTURAL

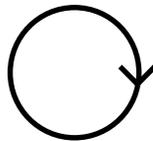
Lo que caracteriza al ser vivo es su *organización autopoietica*. (Maturana y Varela, 1984, p. 28, *énfasis añadido*)

La primera idea central en la *biología de la cognición* es que lo que caracteriza a los seres vivos es su *organización autopoietica*. Para entender este concepto, empecemos por las definiciones que Maturana y Varela (1984) utilizan para “organización” y “estructura”:

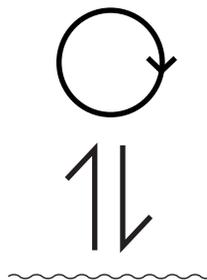
Se entiende por **organización** a las relaciones que deben darse entre los componentes de algo para que se lo reconozca como miembro de una clase específica. Se entiende por **estructura** de algo a los componentes y relaciones que concretamente constituyen una unidad particular realizando su organización. (Ibíd., p. 28, *énfasis en el original*)

Por ejemplo, si hablamos de una silla, podemos decir que su organización se refiere a la manera en que las partes están relacionadas y que la convierten en una silla y no en una mesa o un banco. El modo en que las patas (o pata) de una silla se relacionan con el asiento, de tal manera que resulta posible sentarse en ella, conforma la organización de la silla. La organización es tal, que si cambiara, lo que se obtendría ya no sería una silla. La estructura de la silla, en cambio, puede ser modificada. Por ejemplo, si reemplazamos madera por plástico, o si en lugar de cuatro patas utilizamos solamente un pilar grueso, tendríamos todavía una silla. La estructura puede cambiar y la entidad sigue existiendo siempre y cuando la organización se conserve.

De acuerdo a Maturana y Varela, los seres vivos son sistemas en los que la estructura está continuamente cambiando, pero cuya organización se conserva (Maturana, 1988a). Esto significa que mientras que los componentes de un sistema se modifican constantemente, el sistema continúa existiendo como tal. Esto ocurre en el modo particular de organización al que Maturana y Varela (1992) llaman *autopoiesis*. En sistemas autopoieticos los componentes están relacionados en una red de interacciones y es a través de estas interacciones que los componentes *se producen a sí mismos*. "Lo que es peculiar en ellos [los seres vivos] es que su organización es tal que su único producto es sí mismos, donde no hay separación entre productor y producto" (Maturana y Varela, 1984, p. 29). En otras palabras, el concepto autopoiesis denota sistemas autorreferenciales cuyos componentes se producen a sí mismos en el proceso del vivir. El siguiente diagrama simboliza un sistema autopoietico que continuamente se crea a sí mismo (Maturana y Varela, 1992, p. 74).



A pesar de producirse a sí mismos a cada instante, los seres vivos se encuentran abiertos a las interacciones con el contexto que les rodea. Dichas interacciones provocan perturbaciones en el organismo; cambios estructurales que son incorporados en un proceso continuo de reorganización. Las interacciones con el medio ambiente, por lo tanto, provocan ciertas respuestas, pero no las determinan. Los estímulos externos siempre son experimentados a través de nuestras estructuras internas en el proceso de autocreación. Maturana y Varela (1992, p. 72) utilizan el siguiente diagrama para explicar la relación entre el organismo autopoietico y el medio:



Desde esta perspectiva, un(a) estudiante de matemáticas es un sistema que se organiza internamente a sí mismo (o a sí misma) en cada instante. Cuando un estímulo llega hacia él o ella, por ejemplo, la percepción de un símbolo matemático, éste es

inmediatamente incorporado en la estructura del (de la) estudiante, esto es, en su ser. No podemos hablar de que el (la) estudiante elabora una representación interna de algo externo, ya que en todo momento estará trabajando con elementos propios. Los elementos internos con los que trabajamos (por ejemplo, pensamientos o imágenes) no representan objetos externos, es decir, no tienen una correspondencia con algún objeto que pertenece al mundo exterior. Para el individuo, los estímulos adquieren sus características y se conforman en la medida en que son percibidos e interpretados en el proceso de modificación en las estructuras.

Debido a que los seres vivos se crean a sí mismos a cada instante, viven todo en referencia a ellos mismos, a través de sus estructuras (Maturana, 2002, pp. 5-6). Esto significa que, al final, las estructuras determinan lo que sucede en un organismo en un momento determinado (Ibíd., p. 6). Las estructuras limitan las acciones que un sistema puede llevar a cabo en un instante. Es por esta razón que Maturana y Varela caracterizan a los seres vivos como sistemas *determinados estructuralmente* (Ibíd., p. 5).

Por ejemplo, un árbol se mueve con el viento de la manera que su constitución lo especifica. El viento, cuando sopla, no puede determinar el tipo de forma que adoptará el árbol; es la estructura del árbol la que permite ciertos movimientos y no permite otros.

Los estudiantes de matemáticas, cuando incorporan un símbolo algebraico en su sistema, lo hacen tal como su estado estructural permite. La manera en que el símbolo es "visto" por los estudiantes está determinada por cómo están configurados en ese momento, no por algún significado intrínseco del signo, o por la manera en que está presentado frente a ellos.

Ahora, si decimos que los seres vivos están determinados estructuralmente, ¿cómo es que actúan de manera congruente en su contexto? ¿Cómo es que a veces observamos respuestas similares dado un mismo estímulo? ¿Cómo es que existe comunicación entre los organismos y el medio? Lo que sucede es que la estructura de los organismos es altamente flexible y se encuentra cambiando en cada momento. Aun cuando el medio ambiente no especifique o determine una reacción en particular debido a que todos los estímulos se viven a través de las estructuras, sí desempeña un papel importante al provocar los cambios que suceden en dichas estructuras. Las respuestas están determinadas por la estructura individual, y la estructura individual es, a su vez, un producto de los cambios ocurridos a raíz de interacciones pasadas, tanto internas como con el medio ambiente.

Las estructuras del o de la estudiante de matemáticas cambiarán constantemente, pero su organización, es decir, aquello que lo o la hace estudiante, no cambiará. Los estudiantes modifican sus estructuras (pensamientos, emociones, imágenes y todo aquello que los constituye de manera individual o particular), en relación a los estímulos que reciben, y las modificaciones serán tales que les permitirán seguir siendo estudiantes en un ambiente determinado. Esto quiere decir que, al ser un organismo autopoiético, un o una estudiante de matemáticas interactuará con el medio de tal manera que los cambios resultantes le permitan continuar en la clase de matemáticas (conservación de

organización). El cambio de estructura bajo la misma organización resulta en la adaptación al medio, es decir, en continuar siendo estudiante en la clase de matemáticas.

Ahora, si en el proceso de vivir en un ambiente determinado, se crea una historia de interacciones recurrentes entre dos (o más) sistemas, entonces ambos sistemas atravesarán cambios estructurales motivados por dichas interacciones. Existirá lo que Maturana y Varela (1984) llaman *acoplamiento estructural* (p. 49).

ACOPLAMIENTO ESTRUCTURAL

Hablamos de acoplamiento estructural cuando hay una historia de interacciones recurrentes que dan lugar a la congruencia estructural entre dos (o más) sistemas. (Maturana y Varela, 1992, p. 75, mi traducción)

Los seres vivos interactúan con el medio ambiente (incluyendo otros seres vivos) y cuando hay interacción recurrente entre dos sistemas, ambos cambian de manera congruente o similar. En este caso, los sistemas pueden ser un solo organismo (por ejemplo, un estudiante de matemáticas interactuando con otro), o pueden también ser un conjunto de individuos (el mismo estudiante interactuando con el grupo completo de estudiantes y el profesor como un todo). En este último caso, podría observarse al estudiante responder congruentemente a las preguntas y observaciones del profesor y de sus compañeros. Un observador externo podría decir que la persona está actuando de manera coherente con su entorno, como si él o ella percibiera determinadas características del mundo externo y respondiera a ellas. En realidad, lo que sucede es que el individuo, en este caso el estudiante, ha estado interactuando con el medio por un cierto periodo y se encuentra actuando de acuerdo a su estructura, la cual ha estado cambiando junto con la estructura del medio (estudiantes y profesor).

Conforme el estudiante de matemáticas interactúa de manera recurrente con su profesor o profesora y con los demás estudiantes en el salón de clases, juntos crearán una historia de interacciones. Es a través de esta historia que las estructuras de todos los participantes en el salón de clases cambiarán de manera congruente, creando formas de comunicación y de trabajo conjunto. Cuando esto no sucede, un estudiante (o profesor) puede, en un caso extremo, dejar de actuar congruentemente y, por lo tanto, dejará de pertenecer a la organización en que se encuentra. Esto sucede cuando los cambios estructurales no dan lugar a la adaptación al medio. Por ejemplo, reprobando repetidamente los exámenes de matemáticas, en ciertos contextos tiene como consecuencia una separación del estudiante del grupo en el que se encuentra.

LA COGNICIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA ENACTIVISTA

El sistema nervioso de los organismos, según la perspectiva enactivista, no puede operar con representaciones del medio ya que es una red cerrada de neuronas (autopoieticas) que se producen a sí mismas a cada instante (Maturana, 2002, p. 19). La cognición, por lo tanto, no está relacionada con representaciones mentales, ya que es biológicamente imposible para los seres vivos el operar con algo que se encuentra determinado en el exterior de ellos mismos. "Para entender los procesos neurológicos desde un punto de vista no-representacional, es suficiente con notar que cualquier perturbación que llegue del medio será informada (moldeada) de acuerdo a las *coherencias internas* del sistema" (Varela, 1987, p. 60, mi traducción, énfasis en el original). Un estímulo externo solamente provoca un cambio en la estructura del organismo, no produce una representación de algo fuera del mismo.

La cognición es un fenómeno que ocurre en sistemas determinados estructuralmente y está relacionado con la manera en que las estructuras de estos sistemas cambian. Los seres vivos modifican y producen sus estructuras en el proceso del vivir, al actuar e interactuar con el medio ambiente. La cognición es, en la teoría enactivista, equivalente al proceso de vida mismo. Un organismo "conoce" o "sabe" cuando sobrevive en un contexto determinado, cuando muestra un comportamiento que es posible en ese contexto, cuando está vivo. La cognición está íntimamente relacionada con la acción, de tal manera que resultan inseparables. En palabras de Maturana y Varela: "Todo hacer es conocer y todo conocer es hacer" (Maturana y Varela, 1984, p. 13).

Dadas sus raíces biológicas, comentadas anteriormente, la perspectiva enactivista enfatiza la comprensión de la acción –sinónima de la cognición– como *corpórea* (*embodied*) o perteneciente al cuerpo en dos sentidos fundamentales:

1. cognición dependiente del tipo de experiencia proveniente del tener un cuerpo con diversas capacidades sensomotoras;
2. capacidades sensomotoras individuales que se encuentran, a su vez, inmersas en un contexto social y cultural más amplio (Varela, 1999, p. 12, mi traducción).

El primer significado de cognición corpórea la sitúa en nuestros cuerpos, y nos impide pensar en ella como una noción abstracta, separada de nuestra experiencia cotidiana. El segundo significado ubica al aprendizaje en un contexto social y cultural.

A continuación examinaré el primer punto: la relación directa entre la cognición y las experiencias que provienen de un cuerpo físico. Esto a su vez incluye dos ideas: la primera es que la cognición surge de las acciones que realizamos, y la segunda, que las acciones se encuentran limitadas por nuestra constitución particular. Elaboraré ambos puntos y después comentaré las implicaciones de tomar la cognición como derivada de un cuerpo situado en un cierto contexto.

LA COGNICIÓN COMO ACCIÓN CORPÓREA

[E]l mundo no es algo que se nos da, sino algo con lo que nos relacionamos al movernos, tocar, respirar y comer. Esto es a lo que llamo *cognición* como en-acción (*cognition as enaction*) [...]. (Varela, 1999, p. 8, énfasis en el original, mi traducción)

Anteriormente mencionamos que la cognición, en la perspectiva enactivista, es el continuo proceso de cambio en nuestras estructuras, es decir, en la manera que estamos constituidos momento a momento. Nuestras estructuras son altamente complejas y flexibles, cambiando a cada instante. Modificaciones en éstas ocurren al actuar en el mundo y no como resultado directo de los estímulos externos. No recibimos información del mundo, *actuamos* sobre el mundo, y nuestras acciones constituyen nuestros procesos cognoscitivos. La perspectiva enactivista enfatiza, por un lado, que nuestras *percepciones se encuentran guiadas por nuestras acciones* y, por otro, que las *estructuras cognitivas emergen a partir de patrones recurrentes en actividad sensomotora* (Varela, 1999, p. 12, énfasis añadido). En otras palabras, el enactivismo indica que nuestra actividad mental (pensamientos, imágenes, emociones) se encuentra enraizada en las acciones que llevamos a cabo con y a través de nuestros cuerpos.

Con el objeto de ilustrar la noción de acción guiada perceptualmente, se da el siguiente ejemplo de un experimento realizado por Held y Hein, en 1958.

En un estudio clásico, Held y Hein criaron gatitos en la oscuridad y los expusieron a la luz sólo bajo ciertas condiciones. A un primer grupo de animales se le permitió moverse normalmente, pero cada uno de ellos fue atado a un simple carrito con una canasta que contenía a un miembro del segundo grupo de animales. Los dos grupos, por lo tanto, compartieron la misma experiencia visual, pero el segundo grupo estuvo totalmente pasivo. Cuando los animales fueron liberados después de unas semanas de dicho tratamiento, el primer grupo de gatitos se comportó de manera normal, pero aquellos que habían sido llevados de un lado a otro [en la canasta], actuaban como si fueran ciegos: chocaban contra los objetos y se caían en las orillas [de los muebles]. Este bello estudio apoya la perspectiva enactivista de que los objetos no son vistos debido a la extracción visual de propiedades, sino por la guía visual de la acción. (Varela et ál., 1991, pp. 174-175, mi traducción)

Aquellos gatitos a los que no se les permitió el movimiento actuaban como si fueran ciegos debido a que no habían tenido la oportunidad de formar su percepción a través de la acción. Los otros, aun cuando habían tenido acceso limitado a la luz, pudieron moverse y explorar su entorno. Esto hizo posible que percibieran a través de la vista, es decir, que vieran.

Otro ejemplo dado por Varela et ál. (1991), que comenta un caso desarrollado por Bach-y-Rita, puede resultar de utilidad para comprender esta idea:

Bach-y-Rita diseñó una cámara de video para personas ciegas que puede estimular múltiples puntos de la piel a través de vibraciones activadas eléctricamente. Utilizando esta técnica, se logró que las imágenes formadas con la cámara correspondieran a patrones de estimulación de la piel, compensando así la pérdida visual. Los patrones proyectados en la piel no tienen contenido visual a menos que el individuo se encuentre conductualmente activo dirigiendo la videocámara mediante la cabeza, la mano y otros movimientos corporales. Cuando la persona ciega se comporta activamente de esta manera, después de unas cuantas horas de experiencia ocurre algo asombroso: la persona deja de interpretar las sensaciones en la piel como relacionadas con el cuerpo y las percibe como imágenes proyectadas en el espacio que está siendo explorado por el cuerpo dirigido mediante la “mirada” de la videocámara. Entonces, para experimentar “objetos reales que ese encuentran allá afuera”, la persona debe dirigir activamente la cámara (usando la cabeza o la mano). (Ibíd., p. 75, mi traducción)

La percepción, entonces, no se trata de la recuperación de información acerca del mundo. Cuando actúo en el mundo, percibo. Cuando volteo la cabeza o muevo las manos, entonces veo, toco. Si no realizamos acciones no percibimos. Esto lo sabemos de nuestra vida cotidiana. A veces no escuchamos sonidos a menos que alguien más los mencione, o dejamos de escucharlos cuando nos enfrascamos en alguna tarea. Un gran número de objetos y eventos pasan desapercibidos a menos que actuemos sobre ellos.

De acuerdo a estas ideas, podemos entender por qué, cuando se escucha pasivamente una explicación de matemáticas, resulta prácticamente imposible tener como consecuencia una comprensión profunda de los conceptos involucrados. La percepción misma de los sonidos que conforman la explicación requiere de acciones (que pueden incluso ser invisibles para un observador) por parte del estudiante. Además, la perspectiva enactivista propone que no solamente la percepción se encuentra íntimamente relacionada con la acción. Las estructuras cognitivas, tales como las que tienen que ver con el aprendizaje de las matemáticas, se forman también a partir de patrones en la actividad sensoriomotora. Esto es, las actividades que llevamos a cabo sobre los objetos al interactuar en el mundo dan lugar a estructuras cognitivas tales como los conceptos y categorías matemáticos.

Esta idea se encuentra presente en el trabajo de Piaget (e.g. Piaget, 1954) y también ha sido desarrollada por autores como Lakoff y Johnson (Lakoff, 1983; Johnson, 1989 en Varela, 1999, p. 15). Piaget, por su parte, propuso que el conocimiento surge de la actividad del sujeto, ya sea física o mental. En esta perspectiva, conocer un objeto o un evento implica utilizarlo al asimilarlo a una estructura mental determinada (Glaserfeld, p. 56).

[...] el conocer un objeto implica su incorporación en esquemas de acción, y esto es cierto [tanto] para el nivel sensoriomotor más elemental [como para] las más altas operaciones lógico-matemáticas. (Piaget, 1967, p. 17, citado en Glaserfeld, p. 56)

Piaget explicó cómo, a partir del sistema sensoriomotor y su propia actividad, el ser humano desarrolla toda su concepción de un mundo, incluyendo objetos localizados en el tiempo y en el espacio y las relaciones entre ellos.

Por otro lado, lo que Lakoff y Johnson argumentan es que las estructuras experienciales –esquemas directamente derivados de actividades sensoriomotoras– motivan la comprensión conceptual y el pensamiento racional y abstracto a través de los procesos generales cognitivos como el enfoque, la superposición y el escaneo (Varela, 1999, pp. 15-16). Lo que esto quiere decir es que los esquemas kinestésicos (relacionados con el cuerpo) que tenemos todos los seres humanos, tales como el esquema parte-todo, se originan en la experiencia corporal y después son proyectados metafóricamente para estructurar una variedad de dominios cognitivos de más alto nivel (Varela et ál., 1991, p. 177).

La perspectiva enactivista concuerda con estas posturas y considera que las estructuras conceptuales abstractas son producto de la capacidad de realizar acciones sobre estructuras directamente relacionadas con las interacciones corpóreas.

Nuevamente vemos cómo, desde el punto de vista enactivista, el aprendizaje surge a medida que nos relacionamos activamente con el medio ambiente, por lo que no puede pensarse como absorción de información. Ahora explicaré la manera en que nuestra constitución determina nuestras acciones en cada instante. Si bien al describir las raíces biológicas de la teoría hablamos del determinismo estructural en los organismos, ahora la discusión se enfocará en las acciones y los procesos sensoriomotores de los seres humanos.

LAS ACCIONES CORPORALES DETERMINADAS ESTRUCTURALMENTE

En Sacks (1995), el autor describe el caso de un hombre ciego llamado Virgil, quien recupera la vista después de una cirugía a la que fue sometido a la edad de 50 años. Cuando Virgil abrió los ojos después de la cirugía, nada de lo que veía tenía sentido para él. Percibía solamente lo que para él era un confuso caos de luz y sombra. En realidad, todavía actuaba como un hombre ciego, aun cuando los doctores decían que era físicamente capaz de ver.

Una explicación enactivista de estos eventos podría ser que Virgil no tuvo la oportunidad de construir, a través de la experiencia, las estructuras que nos permiten encontrar significados para lo que vemos. Debido a que su vista había estado afectada, no había podido realizar acciones guiadas perceptualmente que le permitieran construir las estructuras que hacen posible ver como lo hacemos la mayoría. Lo que esto nos muestra es que, de la misma manera que las estructuras surgen cuando actuamos, las acciones que llevamos a cabo se encuentran determinadas por nuestras estructuras. Las acciones de Virgil eran las de un hombre ciego, aun cuando físicamente era capaz de ver. Sus estructuras limitaban las acciones que podía llevar a cabo.

Estar determinados estructuralmente aplica a todas las acciones y, por lo tanto, al aprendizaje. Nuestro aprendizaje se encuentra delimitado, en un momento determinado, por nuestras estructuras, esto es, por la manera en la que estamos constituidos en ese instante, incluido nuestro estado corporal. Nuestras estructuras determinan qué elementos serán percibidos e interpretados y también limitarán y moldearán las acciones que llevaremos a cabo. La cognición no puede verse como la recuperación de información del mundo; se trata de notar ciertas características a través de nuestras acciones, y lo que podemos notar es resultado de nuestra constitución.

Es por las ideas anteriores sobre la cognición como acción corpórea que, desde la perspectiva enactivista, resulta imposible pensar en una separación, por una parte, entre la mente y el cuerpo y, por otra, entre la razón y la emoción. Las emociones, desde esta perspectiva, son estados corporales que especifican las acciones posibles para un organismo en un momento dado: “[Las emociones] son disposiciones corporales dinámicas para [ciertas] acciones [...] que especifican en un momento determinado los dominios de acción en los que los organismos se mueven” (Maturana, 1988a, p. 49, mi traducción). El notar determinados aspectos del medio y actuar de determinada manera siempre estará motivado por un estado emocional. El aprendizaje de las matemáticas, por lo tanto, no puede verse separado de los estados emocionales de los estudiantes ya que dichos estados forman parte de su constitución, que a su vez selecciona aquellas características del ambiente que puedan generar cambios estructurales.

El hecho de que nuestras estructuras, que incluyen nuestro estado corporal, determinan nuestras acciones y, por lo tanto, nuestro aprendizaje en un momento particular no significa que estemos predeterminados, o que podemos decir lo que sucederá a una persona en el futuro. En realidad es lo opuesto. Hemos hablado de que nuestras estructuras son flexibles y que cambian momento a momento a través de nuestras acciones. Si los individuos actúan de cierta manera en un determinado momento, eso no significa que no pueden actuar de manera distinta en el futuro. Por ejemplo, las personas que pierden la habilidad de hablar después de haber tenido un infarto cerebral pueden, en algunos casos, aprender a hablar nuevamente después de meses de terapia. El hecho de que las estructuras no les permitieran utilizar el lenguaje en un determinado momento no significa que la situación no pueda cambiar. Lo mismo sucede con un estudiante de matemáticas que, en un momento determinado, no puede “ver” una estructura matemática o una relación conceptual. En otro momento, el mismo estudiante podrá ver estos elementos sin dificultad. Es a través de las interacciones y de las acciones internas que nuestras estructuras cambian cuando aprendemos distintas cosas. En palabras de Maturana y Varela (1992): “No vemos lo que no vemos, y lo que no vemos no existe. Sólo cuando una interacción nos saca de lo obvio –por ejemplo, el ser transportados a un medio cultural diferente– y nos reflexionamos, es que creamos nuevas constelaciones de relaciones [...]” (p. 242, mi traducción).

El complejo juego entre estructuras que surgen a partir de acciones y acciones que son determinadas por las estructuras sugiere que es prácticamente imposible predecir

resultados cuando se habla de aprendizaje. Las estructuras están moldeadas por las acciones en cada instante. Nuestras historias completas de interacciones, junto con nuestras dinámicas biológicas internas, serán responsables por la manera en que actuamos en cualquier situación. De hecho, desde este punto de vista y siguiendo a Stewart (2010), podemos decir que “la instrucción, en el sentido estricto de la palabra, es radicalmente imposible” (p. 9). Las acciones que los maestros o las maestras realizan no causan respuestas en los alumnos. Los agentes externos solamente desencadenan o generan respuestas en los individuos, no las especifican.

Esto nos ayuda a explicar por qué tenemos una variedad tan amplia de respuestas individuales cuando enfrentamos una situación específica. En un salón de clases de matemáticas, los estudiantes viven eventos similares, pero cada uno experimenta cada situación de una manera particular, debido a su estado estructural. Los mismos problemas recibirán soluciones diferentes, ya que la historia de cada individuo es única y, por lo tanto, estructuras particulares determinarán acciones particulares.

El aprendizaje, por lo tanto, no es el resultado de determinadas estrategias de enseñanza. El aprendizaje es lo que ocurre en el estudiante cuando sus estructuras se modifican al actuar en el mundo. Los cambios en las estructuras, sin embargo, no ocurren en individuos aislados; el aprendizaje ocurre cuando actuamos en un determinado contexto. Las acciones de un maestro no determinarán el resultado de los cambios estructurales pero sí ejercerán una influencia en relación al tipo de cambio que puede ocurrir. Esto nos lleva al segundo significado de cognición corpórea y nos remite a la idea de acoplamiento estructural vista anteriormente. Nuestros cuerpos están localizados en un contexto biológico, social y cultural, y, por lo tanto, las acciones que realizamos se efectúan dentro de un ambiente particular, en la compañía de otros.

INTERACCIONES CON EL MEDIO AMBIENTE

Cuando, en el día a día, interactuamos con nuestro entorno, tanto nuestras estructuras como las estructuras del entorno cambian en un proceso de acoplamiento estructural. Las acciones dan lugar a las estructuras cognitivas, y estas acciones ocurren en un contexto específico que también se ve afectado por dichas acciones. El individuo que aprende no puede ser considerado de manera aislada, tanto él o ella como el mundo se encuentran unidos a través de los constantes cambios en sus estructuras que emergen a raíz de sus interacciones. La cognición no es un fenómeno que surge dentro de la cabeza o el cuerpo de un solo individuo. Surge de las interacciones continuas con el medio, que a su vez se ve modificado por éstas. En el caso del ser humano, este medio incluye a la sociedad y a la cultura, las cuales no pueden separarse del proceso de aprendizaje mismo. El aprendizaje individual se encuentra moldeado por las interacciones que tienen lugar en culturas particulares, pero estas culturas a su vez se encuentran moldeadas a cada instante por las acciones individuales. En el enactivismo se utiliza

el término *co-emergencia* para describir la manera en que el individuo y el mundo se especifican mutuamente (Davis, 1996, p. 10, mi traducción).

Cuando dos o más individuos se involucran en interacciones reiteradas dentro de una cultura en particular, el resultado será una historia de cambios mutuos en estructura. Las interacciones repetitivas darán lugar a cierta congruencia estructural entre los participantes (Maturana y Varela, 1984, p. 50). Esto significa que el aprendizaje colectivo puede ocurrir a través de cambios armónicos en estructura que emergen a partir de interacciones recurrentes. Por ejemplo, si dos estudiantes continuamente se involucran en la resolución de problemas matemáticos, es muy probable que encuentren una manera de trabajar juntos que cambie las estructuras de cada uno de una manera similar o congruente. El resultado para cada estudiante será único debido a su historia particular, pero habrá un espacio para acciones coordinadas que permitirá a ambos participar en una manera de resolver problemas creada por ambos. Cada estudiante poseerá las estructuras necesarias para ser capaz de actuar de determinada manera.

En un salón de clases, las estructuras de los participantes cambiarán simultáneamente al interactuar unos con otros. Como resultado de estas continuas interacciones, se crearán patrones de comportamiento. Estos patrones de comportamiento, que se establecen y pueden ser aprendidos por nuevos miembros de la comunidad a través de dinámicas de comunicación verbales y no-verbales, formarán lo que, a partir de las ideas de Maturana y Varela (1992, p. 201), llamo cultura del salón de clases. Se creará una cultura particular en cada instante en cada salón de clases, como resultado de las acciones de los participantes. Esta cultura, a su vez, moldeará a cada uno de los participantes.

Este es el juego, entre el individuo y el mundo, que caracteriza al enactivismo. El conocer ocurre en la interacción, con otros participantes y en un contexto determinado. Las interacciones recurrentes hacen posible compartir mundos individuales. Conforme las interacciones afectan a los distintos miembros de la comunidad, el contexto se vuelve una "ubicación" (Davis, 1996, p. 197, mi traducción) en la que se van creando los saberes individuales y colectivos. Debido a que la naturaleza de la influencia de las interacciones en los participantes estará determinada por su historia social y cultural, las interpretaciones de los eventos variarán. Al mismo tiempo, habrá acuerdos comunes sobre el tipo de acciones que pertenecerán a ubicaciones particulares.

El aprendizaje ocurre en el intersticio en donde el que aprende encuentra al medio ambiente, enfatiza particularidades de éste y genera una respuesta cuya viabilidad en el medio es entonces determinada. El dominio de lo posible debe intersectar con la preferencia de advertirlo por parte del aprendiz. (Dawson, 1999, p. 154, mi traducción)

La cultura establecida por los participantes impondrá ciertas restricciones sobre el tipo de acciones que la comunidad considerará como "aceptables" en un determinado

momento. Al comportamiento que permite a los participantes continuar existiendo en un contexto dado se le llama *comportamiento efectivo o conducta adecuada* (Maturana and Varela, 1992).

APRENDIZAJE COMO COMPORTAMIENTO ADECUADO

El aprendizaje, en la perspectiva enactivista, siempre es considerado en un contexto relacional (Maturana and Varela, 1984, p. 116). Dado que la cognición está íntimamente relacionada con la acción, y las acciones ocurren en lugares determinados, entonces el aprendizaje tiene que ser investigado en relación a la situación en la que ocurre. El conocimiento, en un lugar determinado, está asociado con la conducta adecuada o la acción efectiva en ese lugar (Maturana, 1987, p. 66). Los individuos organizan sus estructuras al interactuar con el mundo, determinados por su historia. Si la organización da lugar a un funcionamiento adecuado entonces podemos considerar que ha tenido lugar un aprendizaje.

En el caso del aprendizaje de las matemáticas, operar efectivamente es actuar de manera que el estudiante continúe existiendo en un determinado ambiente, es decir, es llevar a cabo acciones que son consideradas aceptables en la clase de matemáticas. Se especificarán diferentes criterios de aceptación en diferentes contextos. Por ejemplo, en un cierto contexto, el aplicar una estrategia de cálculo mental o un procedimiento para resolver una ecuación lineal, sin entender el porqué de su función, puede ser efectivo, mientras que en otros contextos es necesario justificar y explicar para que el resultado sea considerado correcto. El comportamiento que no es efectivo dará lugar a la interrupción de las interacciones y, a la larga, evitará que el individuo continúe participando en un contexto en el que las acciones son inaceptables. La conducta adecuada, entonces, es la que permite a los estudiantes seguir siendo estudiantes (y a los profesores seguir siendo profesores) en el salón de clases en el que se encuentran.

Si bien, como se mencionó anteriormente, el aprendizaje no puede ser resultado directo de una estrategia de enseñanza, las acciones de los maestros moldearán la cultura que se crea en el salón de clases y, por lo tanto, ejercerán una influencia en el tipo de acciones que serán consideradas efectivas y que darán lugar al aprendizaje.

ENACTIVISMO COMO CAMINO MEDIO

Al caracterizar al aprendizaje como acción efectiva en un dominio en particular, el enactivismo nos provee de un “camino medio” entre posturas epistemológicas subjetivas y objetivas. Al igual que con el constructivismo, el enactivismo sostiene que el aprendizaje se relaciona con la organización y reorganización de nuestro mundo de experiencia; sin embargo, a diferencia de posturas constructivistas radicales, los individuos no se con-

templan como entidades aisladas del medio ambiente, sino como parte de un mundo en cuya creación participan activamente. El contexto cultural y la mediación social no son solamente influencias en el aprendizaje individual como en ciertas posturas de constructivismo social. Como sucede en aproximaciones como la teoría sociocultural, la cognición es vista como proceso colaborativo, y el conocimiento colectivo surge a partir de la acción compartida, ya que los individuos son considerados parte de sistemas complejos (Davis, 1996, p. 192). De esta manera, un salón de clases de matemáticas es considerado como un todo y los participantes construyen su conocimiento a través de sus interacciones. Mientras actúan de manera conjunta en un contexto dado, los individuos contribuyen a crearlo. Los estudiantes y los profesores participan en la creación de una cultura que, a su vez, ejerce una influencia en el aprendizaje individual. El énfasis se encuentra en la inseparabilidad de individuo y contexto al considerarse que emergen de manera simultánea.

En la postura enactivista, “la educación es un proceso a través del cual estudiantes y profesores cambian juntos de manera congruente mientras mantienen interacciones recurrentes tales que los estudiantes aprenden a vivir con sus profesores en cualquier dominio de existencia” (Maturana y Nisis, 1998, mi traducción). No puede considerarse el aprendizaje como resultado directo de la enseñanza, como un proceso en el que existe una correspondencia entre estímulo y respuesta, pero tampoco puede considerarse como un proceso en individuos aislados, que existen de manera separada de su entorno. Alumno, maestro y cultura emergen de manera simultánea.

ENACTIVISMO Y EDUCACIÓN MATEMÁTICA

La perspectiva enactivista ha sido utilizada principalmente en algunos círculos de investigadores en educación matemática en Canadá y el Reino Unido, aunque el interés en la teoría ha ido en aumento en los últimos años, y más investigadores la empiezan a utilizar en su trabajo, por ejemplo, en Finlandia y Sudáfrica. Ernest (2010) sostiene que sus fundamentos poseen gran riqueza y poder para generar explicaciones acerca del aprendizaje. Asimismo, Simon (2013) incluye el enactivismo entre las “grandes teorías” en educación matemática, junto con el constructivismo y la teoría sociocultural.

En esta sección mencionaré algunos de los trabajos que se han realizado desde una perspectiva enactivista con el objeto de ejemplificar su uso. No se trata de una revisión exhaustiva de la literatura, sino de mostrar el tipo de investigación que se lleva a cabo desde esta perspectiva.

Reid (1996) es uno de los principales investigadores dedicados a estudiar el aprendizaje y la enseñanza de las matemáticas a través de ideas enactivistas. Durante muchos años trabajó en colaboración cercana con Zack, una maestra de primaria con quien desarrolló análisis y propuestas teóricas alrededor del trabajo matemático realizado por los alumnos del salón de clases de esta última (Zack y Reid, 2003; 2004). Reid y Zack,

por ejemplo, describen cómo los alumnos, al encontrar ideas complejas por primera vez, toman decisiones y realizan acciones que les funcionan de manera provisional. Frecuentemente trabajan con una comprensión que denominan como “suficientemente buena” (*good enough*), la cual es incompleta si se considera desde un punto de vista matemático formal, pero sirve o es adecuada de manera temporal. Los autores argumentan que esto no constituye una debilidad, sino que la disposición de los estudiantes a continuar trabajando con base en esta comprensión incompleta es un componente esencial de la resolución de problemas complejos.

Reid introdujo también la idea de tomar esta perspectiva no solamente como una posición teórica sino también metodológica. Para Reid, el investigador constituye una unidad autopoiética que se encuentra en un determinado contexto, y que actuará de manera que sus acciones le permitan continuar existiendo en ese contexto (Reid, 1996 p. 206). Las teorías y los resultados en educación matemática, por lo tanto, serán formuladas de acuerdo a los criterios establecidos por comunidades científicas en momentos determinados. La investigación es considerada como una forma de aprendizaje en la que las ideas del investigador se verán en continua modificación. Asimismo, el contexto en el que el investigador se encuentra será también modificado por las acciones de éste. Ambos, contexto e investigador, están relacionados y co-emergen a través de sus interacciones. Esto se puede ilustrar mediante el hecho de que, por ejemplo, en la mayoría de los trabajos de investigación hechos por Reid, el papel del investigador, el desarrollo de sus ideas y la interacción con los participantes en el salón de clases a lo largo del proceso de investigación son descritos detalladamente (véase Zack y Reid, 2003; 2004). El investigador no se presenta como un observador aislado sino como un aprendiz y coparticipante que interactúa y aprende junto con el maestro y los alumnos.

Brown y Coles, por su parte, han trabajado conjuntamente durante un considerable número de años en diversos proyectos, estudiando el aprendizaje y la enseñanza de las matemáticas desde la perspectiva enactivista (e.g. Brown y Coles, 1999; 2011). El trabajo inició como una colaboración muy cercana entre investigadora y profesor, la cual se presenta con frecuencia como característica de la investigación enactivista. Brown y Coles trabajaron durante varios años en la creación de una cultura del salón de clases en la que se lleva a cabo la práctica de “ser un matemático”; práctica mediante la cual los participantes cuestionan, reflexionan y meta-comentan acerca de sus acciones. Todas éstas se consideran acciones adecuadas o efectivas en dicha cultura. Los investigadores muestran evidencia de que las prácticas anteriores sirven de soporte para el aprendizaje matemático (Coles, 2013). Lo anterior sucede en una “comunidad de indagadores” en la cual las acciones individuales son moldeadas por, y a la vez modifican a, la comunidad misma.

Por otra parte, Davis (e.g. 1995; 1997) también ha contribuido fuertemente al establecimiento y uso de la perspectiva enactivista en educación matemática. Ha escrito libros y artículos de reflexión acerca de la teoría misma y de su uso para investigar el aprendizaje matemático tanto en estudiantes como en profesores. Davis hace hincapié en la

inseparabilidad de los procesos de aprendizaje y del producto (las matemáticas). El autor considera el enactivismo como una postura intermedia que, si bien permite retomar aspectos fundamentales del constructivismo, incluye la parte social en el aprendizaje, no como una influencia sino como algo fundamental al tomar en cuenta la inseparabilidad del individuo con el medio, que es fundamental en la teoría.

La parte afectiva –inseparable de los procesos cognoscitivos en el enactivismo– ha sido retomada por varios autores. Brown y Reid (2006) exploran las decisiones no-conscientes que ocurren continuamente en el aprendizaje y la enseñanza de las matemáticas y explican cómo las emociones desempeñan un papel importante en este proceso: “Hemos intentado clarificar las maneras en las que la emoción es parte esencial de la cognición y cómo los marcadores somáticos proveen la base emocional para las decisiones no-conscientes que deben ocurrir antes de la acción y de la reflexión consciente” (Ibid., p. 190, mi traducción). Brown y Coles (2011) también toman en cuenta la inseparabilidad de la cognición con los aspectos afectivos al reformular sus ideas sobre el desarrollo profesional de los profesores de matemáticas. Al reconocer las bases biológicas del conocimiento, los autores concluyen que la forma de trabajo creada en grupos formados por futuros profesores, profesores e investigadores depende de las historias de interacción entre los participantes e incluye la dimensión afectiva: “Al invocar la noción de un grupo de “conocer-interconectado” reconocemos la importancia de la dimensión afectiva al describir cualquier método de desarrollo profesional. Una implicación del reconocimiento de las bases biológicas del ser es que lo afectivo no puede ser separado de lo cognitivo” (Ibid., p. 864).

Asimismo, Hannula (2012) habla sobre cómo la perspectiva enactivista ayuda a tomar en cuenta tanto la base evolutiva de los procesos afectivos como el desarrollo individual, permitiendo así tener una fundación meta-teórica para relacionar distintos aspectos de la investigación en esta área.

En mi propio trabajo de investigación (Lozano, 2004; 2008), la perspectiva enactivista me permitió, a través de un estudio longitudinal, formular una caracterización del aprendizaje del álgebra que incluye diversas dimensiones, incluyendo aspectos sociales, cognoscitivos, afectivos y matemáticos. En dicho estudio, el aprendizaje del álgebra ocurrió cuando los participantes crearon y fueron moldeados por una cultura en la que actuar algebraicamente, en el sentido convencional, se volvió parte del actuar natural de los estudiantes, es decir, cuando se volvió parte de su ser. Desde mi punto de vista, las ideas enactivistas me permitieron “ver” el aprendizaje del álgebra de una forma que sin ellas no habría sido posible.

COMENTARIOS FINALES: UNA INVITACIÓN A CONOCER –Y POR LO TANTO HACER– MÁS

Como hemos visto, la fuerte inconformidad –presente en el enactivismo– con la noción de que la cognición es fundamentalmente una representación del mundo que rodea al observador, permite considerar el aprendizaje de las matemáticas desde un ángulo distinto al que suele utilizarse en el campo. El conocer, como vimos, no puede ser caracterizado por la aprehensión de representaciones de objetos que se encuentran en un mundo externo al sujeto. Sin embargo, tampoco puede estar determinado por procesos internos que suceden en mentes aisladas del entorno. Para el enactivismo, la cognición resulta del interactuar de un mundo y una mente con base en una historia de una variedad de acciones que un organismo lleva a cabo en ese mundo (Varela et ál., 1991, p. 9, mi traducción). Esto quiere decir que el conocer es resultado de las interacciones con el mundo, las cuales estarán determinadas por la historia del individuo (Ibíd., p. 18). De esta manera, la estructura biológica y la experiencia previa determinan el significado que, del mundo, cada persona construye. El conocer surge a partir de las interacciones, que a su vez ejercerán influencia sobre todos los participantes. El énfasis no se encuentra en el individuo ni en el contexto, ya que ambos son inseparables.

A través de las ideas enactivistas, el aprendizaje individual se reconcilia con la interacción social, el cuerpo con la mente, la razón con la emoción y el conocer con el conocimiento matemático. Sus conceptos, desde mi punto de vista, permiten tener una perspectiva amplia acerca del aprendizaje y la enseñanza de las matemáticas, tomando en cuenta su complejidad. Al contemplar la dificultad de generalizar resultados en educación matemática –ya reconocida en la investigación en el campo– debido a la multiplicidad de factores que influyen en el aprendizaje, me parece fundamental contar con miradas teóricas que permitan tomar en cuenta, de manera explícita, la multidimensionalidad de los fenómenos estudiados. El presente artículo constituye una invitación a conocer la perspectiva enactivista a mayor profundidad para contemplarla como una posibilidad para explorar la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas de manera multifacética. Me parece que, dada la complejidad y riqueza de la educación matemática, dicha posibilidad resulta tanto útil como valiosa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artigue, M., M. Bartolini Bussi, T. Dreyfus, E. Gray y S. Prediger (2005), "Different theoretical perspectives and approaches in research in mathematics education", *Proceedings from CERME 4*, Working group 11, pp. 1239-1243, http://www.mathematik.uni-dortmund.de/~erme/CERME4/CERME4_WG11.pdf#page=3, [12-05-13].
- Bach-y-Rita, P. (1962), *Brain Mechanisms in Sensory Substitution*, Nueva York, Academic Press.

- Bateson, G. (1979), *Mind and Nature*, Nueva York, Dutton.
- (1987), "Men are Grass: Metaphor and the World of Mental Process", en W. I. Thompson (ed.), *GAIÁ, A Way of Knowing: Political Implications of the New Biology*, Hudson, N. Y., Lindisfarne Press.
- (2000), *Steps to an Ecology of Mind*, Chicago, The University of Chicago Press.
- Brown, L y A. Coles (1999), "Needing to use algebra – A case study", en O. Zaslavsky (ed.), *Proceedings of the 23rd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, Haifa, vol. 2, pp. 153-160.
- (2011), "Developing expertise: How enactivism re-frames mathematics teacher development", *ZDM Mathematics Education*, vol. 43, pp. 861-873.
- Brown, L y D. Reid (2006), "Embodied Cognition: Somatic markers, purposes and emotional orientations", *Educational Studies in Mathematics*, vol. 63, núm. 2, pp. 179-192.
- Coles, A. (2013), *Being Alongside: For the Teaching and Learning of Mathematics*, Rotterdam, Sense Publishers.
- Davis, B. (1995), "Why teach mathematics? Mathematics education and enactivist theory", *For the Learning of Mathematics*, vol. 15, núm. 2, pp. 2-9.
- (1996), *Teaching Mathematics: Toward a Sound Alternative*, Nueva York, Garland Publishing.
- (1997), "Listening for differences: An evolving conception of mathematics teaching", *Journal for Research in Mathematics Education*, vol. 28, pp. 355-376.
- Davis, B. y E. Simmt (2003), "Understanding learning systems: Mathematics education and complexity science", *Journal for Research in Mathematics Education*, 34, pp. 137-167.
- Dawson, S. (1999), "The Enactive Perspective on Teacher Development: 'A Path Laid While Walking'", en B. Jaworski, T. Woods y S. Dawson (eds.), *Mathematics Teacher Education: Critical International Perspectives*, Londres, Falmer Press.
- Ernest, P. (2010), "Reflections on theories of learning", en B. Sriraman y L. English (eds.), *Theories of Mathematics Education. Seeking New Frontiers*, Heidelberg, Springer, pp. 39-47.
- Glaserfeld, E. von (1995), *Radical Constructivism: A Way of Knowing and Learning*, Londres, Falmer Press.
- Hannula, M. S. (2012), "Exploring new dimensions of mathematics-related affect: embodied and social theories", *Journal for Research in Mathematics Education*, vol. 14, núm. 2, pp. 137-161.
- Johnson, M. (1989), *The Body in the Mind*, Chicago, University of Chicago Press.
- Lakoff, G. (1983), *Women, Fire and Dangerous Things*, Chicago, University of Chicago Press.
- Lozano, M. D. (2004), *Characterising Algebraic Learning: an enactivist longitudinal study*, tesis doctoral, University of Bristol.
- (2005), "Mathematics learning: ideas from neuroscience and the enactivist approach to cognition", *For the Learning of Mathematics*, vol. 25, núm. 3, pp. 24-27.
- (2008), "Characterising Algebraic Learning through enactivism", *Proceedings of the 30th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, Morelia, vol. 3, pp. 329- 336.

- Maturana, H. (1987), "Everything is Said by an Observer", en W. I. Thompson (ed.), *GAIA, A Way of Knowing: Political Implications of the New Biology*, Hudson, N.Y., Lindisfarne Press, pp. 65-82.
- (1988a), "Ontology of Observing: The Biological Foundations of Self Consciousness and the Physical Domain of Existence", *Conference Workbook: Texts in Cybernetics*, American Society for Cybernetics Conference, Felton, pp. 18-23, <http://www.inteco.cl/biology/ontology> [30-07-01].
- (1992), "Diálogo con Humberto Maturana, un notable biólogo ciberneta, sobre la realidad y el conocimiento", <http://www.puntoedu.edu.ar/comunidades/comunicacion/sanpedro/comunicacionestrategica> [15-04-01].
- (2002), "Autopoiesis, Structural Coupling and Cognition: A history of these and other notions in the biology of cognition", *Cybernetics and Human Knowing*, vol. 9, núm. 3-4, pp. 5-34.
- Maturana, H. y S. Nisis (1998), "Human Awareness: Understanding the Biological Basis of Knowledge and Love in Education", <http://members.ozemail.com.au/~jcull/articles/arteduc.htm> [31-01-03].
- Maturana, H. y F. Varela (1984), *El árbol del conocimiento*, Santiago de Chile, Editorial Universitaria.
- Maturana, H. y F. Varela (1992), *The Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding*, ed. rev., Boston, Shambhala.
- Piaget, J. (1954), *The Construction of Reality in the Child*, Nueva York, Basic Books.
- Reid, D. (1996), "Enactivism as a Methodology", en L. Puig y A. Gutiérrez (eds.), *Proceedings of the 20th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, Valencia, pp. 203-209.
- Sacks, O. (1995), *An Anthropologist on Mars*, Londres, Picador.
- Simon, M. A. (2013), "The need for theories of conceptual learning and teaching of mathematics", en K. R. Leatham (ed.), *Vital Directions for Mathematics Education Research*, Nueva York, Springer, pp. 95-118.
- Stewart, J. (2010), "Foundational issues in enaction as a paradigm for cognitive science: from the origin of life to consciousness and writing", en J. Stewart, O. Gapenne y E. D. Paolo (eds.), *Enaction: Toward a New Paradigm for Cognitive Science*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Varela, F. (1987), "Laying down a path by walking", en W. I. Thompson (ed.), *GAIA, A Way of Knowing: Political Implications of the New Biology*, Hudson, N.Y., Lindisfarne Press, pp. 48-64.
- Varela, F. (1999), *Ethical Know-How: Action, Wisdom and Cognition*, Stanford, Stanford University Press.
- Varela, F., E. Thompson y E. Rosch (1991), *The Embodied Mind*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Zack, V. y D. Reid (2003), "Good-enough understanding: Theorising about the learning of complex ideas (Part 1)", *For the Learning of Mathematics*, vol. 23, pp. 43-50.

Zack, V. y D. Reid (2004), "Good-enough understanding: Theorising about the learning of complex ideas (Part 2)", *For the Learning of Mathematics*, vol. 24, pp. 25-28.

DATOS DE LA AUTORA

María Dolores Lozano

Universidad de las Américas Puebla, México

maria.lozano@udlap.mx