
Revista de Estudios y Experiencias en Educación

REXE

journal homepage: <http://revistas.ucsc.cl/index.php/rexe>

Diseño e implementación de entorno educativo STEM en estudiantes de tercer año básico: abordaje enactivo y ecológico de la experiencia de aprendizaje

Ronnie Videla Reyes^{ab}, Sebastián Rossel Salas^b, Héctor Bugueño Egaña^c y Carlos Urrutia Urrutia^d

Universidad Santo Tomás^a. Universidad de La Serena, La Serena^{abcd}. Chile.

Recibido: 26 de noviembre 2020 - Revisado: 02 de marzo 2021 - Aceptado: 26 de marzo 2021

RESUMEN

El presente artículo tiene por objetivo comprender el proceso de enseñanza y aprendizaje enactivo y ecológico de estudiantes y profesores que participan de entornos educativos STEM para realzar la importancia que tiene la construcción de artefactos en la comprensión de contenidos integrados a través del modelamiento matemático mediado pedagógicamente. En lo que respecta al desarrollo de la experiencia, se privilegió la metodología cualitativa mediante un diseño etnográfico que da realce a la ecología de aprendizaje en aula. Los resultados que más se destacan, corresponden a la propuesta analítica del bucle dinámico enactivo y ecológico para ilustrar la trayectoria del cambio en la cognición y el aprendizaje de los estudiantes, en la medida que sus estructuras sensoriomotoras se reconfiguran en relaciones proporcionales modeladas matemáticamente a través de la regla de tres simple durante la construcción y aplicación de un dinamómetro: exploración y control manual, paridad funcional, paridad inferencial y el aprendizaje ecológico. Así mismo, se releva la mediación pedagógica ecológica que despliegan las profesoras para transformar los contenidos técnicos del currículo en nichos ecológicos especializados.

*Correspondencia: rvidela@userena.cl (R. Videla).

^a  <https://orcid.org/0000-0002-1038-2968> (ronnievidelare@santotomas.cl).

^b  <https://orcid.org/0000-0002-8115-6140> (srossel@userena.cl).

^c  <https://orcid.org/0000-0002-0308-6925> (hbugueno@userena.cl).

^d  <https://orcid.org/0000-0002-4296-0750> (currutia@userena.cl).

Palabras clave: Educación en ciencias; STEM; enacción; psicología ecológica.

Design and implementation of a STEM educational environment in third-year primary school students: an enactive and ecological approach to the learning experience

ABSTRACT

The objective of this article is to understand the enactive and ecological teaching and learning process of students and teachers who participate in STEM educational environments to highlight the importance of the construction of artifacts in the understanding of integrated content through pedagogically mediated mathematical modeling. Regarding the development of the experience, the qualitative methodology was privileged through an ethnographic design that enhances the ecology of classroom learning. The results that stand out the most correspond to the analytical proposal of the enactive and ecological dynamic loop to illustrate the trajectory of change in students' cognition and learning, as their sensorimotor structures are reconfigured into proportional relationships modeled mathematically through of the simple rule of three during the construction and application of a dynamometer: exploration and manual control, functional parity, inferential parity and ecological learning. Likewise, the ecological pedagogical mediation that teachers deploy to transform the technical contents of the curriculum into specialized ecological niches is revealed.

Keywords: Science education; STEM; enaction; ecological psychology.

1. Introducción

La naturaleza prescriptiva de los planes de estudio en que los estudiantes aprenden matemáticas, ciencias y tecnología de manera parcelada y convencional, ha restringido las conexiones con otras asignaturas y el potencial significado más allá de los contenidos encapsulados temáticamente (Nathan et al., 2013). En tiempos en que la teoría de la complejidad, teoría de sistemas dinámicos y las ciencias cognitivas proponen nuevos marcos para la comprensión de la cognición y el aprendizaje, es menester abdicar de los fundamentos cognitivistas de la enseñanza tradicional que adscriben a las ideas de una mente procesadora de información y una pedagogía monolítica con énfasis en el tratamiento simbólico de los contenidos. La implementación de nuevas metodologías o diseños de enseñanza que promuevan entornos de aprendizaje dinámicos, colaborativos y corporeizados en que los estudiantes aprenden conceptos abstractos a partir de la encarnación de sus estructuras perceptivas sensoriomotoras, es considerada de gran valor para la maximización de los recursos filogenéticos y ontogenéticos evolucionarios en la escuela (Abrahamson y Sánchez-García, 2016; Goodwin, 2018; Núñez, 2017).

A nivel global, en la escuela se piensa que resolver un problema de biología no tiene nada que comunicar a la matemática, y menos a la tecnología, enseñar de forma integrada estas asignaturas parece implicar una excepción que desafía la regla (Araya, 2016). La tendencia cognitivista del aprendizaje y la enseñanza monolítica, resultan involucionarias para la mayo-

ría de las nuevas demandas de empleabilidad que enfrentará la sociedad en los próximos 30 años, ya que la fuerza de trabajo se concentrará en habilidades sociales para trabajar en equipo, habilidades sensoriomotoras para involucrar de manera sofisticada la percepción y habilidades creativas para responder a problemas complejos de integración disciplinar a través del modelamiento matemático (Frey y Osborne, 2013). Uno de los principales responsables que ha obstaculizado la enseñanza integrada y el aprendizaje enriquecido de múltiples disciplinas, ha sido la visión cognitivista y parcelada del currículum en ciencias (Quintanilla, 2012). Ésta promueve la idea de que la cognición es un fenómeno representacionista, incorpóreo y no situado, reducido a un sentido único y abstracto sustraído de la agencia del cuerpo y a las variaciones con el entorno sociomaterial (Hutto y Myin, 2013).

Todos estos factores reportados a nivel global, son también compartidos y han tenido consecuencias a nivel nacional. La evidencia de Chile en evaluaciones internacionales como TIMSS, reportó que 1% de los estudiantes chilenos alcanza el nivel avanzado en ciencias en comparación con el promedio internacional, mientras que 25% obtiene menos de 400 puntos, considerados como de bajo nivel (Agencia de Calidad de la Educación, 2018). Más aún, Wolfram (2010) sostiene que 80% de lo que se aprende en matemáticas en la escuela es inútil, porque parece carecer de significado, presentándose como difícil y aburrido. Si se considera además que la ciencia, la ingeniería y la tecnología impregnan casi todas las facetas de la vida moderna que resultan ser claves para abordar muchos de los desafíos actuales y futuros más apremiantes de la humanidad (Glenberg, 2010), resulta necesario explorar nuevos diseños de enseñanza que simulen nichos ecológicos especializados de aprendizaje científico. Lo anterior se justifica debido a la importancia que tiene para los procesos de enseñanza y aprendizaje considerar el patrimonio filogenético y ontogenético de los estudiantes que favorezcan expansiones tecnocientíficas de la vida cotidiana (Abrahamson et al., 2020). Para esto, se ha propuesto el diseño corporeizado basado en la percepción y la acción ligado a las ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas denominado STEM (Science, Technology, Engineering, Math). Videla (2019) sostiene que STEM al estar sustentado en diseños corporeizados de percepción-acción, genera mayores oportunidades de aprendizaje que favorecen la sintonización de habilidades pre-simbólicas de co-construcción de conceptos que emergen de la experiencia de los estudiantes. El campo de desarrollo STEM se enmarca en un contexto de integración curricular orientado a la colaboración y la transformación del aprendizaje práctico, lo que permite a los estudiantes el despliegue de sus habilidades sensoriomotoras para potencialmente asir lo inasible de los conceptos abstractos, generalmente utilizados en la enseñanza de las ciencias (Videla, Aguayo y Veloz, 2021).

Considerando que los resultados de mejora del aprendizaje en ciencias son incipientes, que el desarrollo de STEM es embrionario y que el Ministerio de Educación de Chile (2020) contempla a éste como un eje fundamental de innovación curricular para los próximos años, se vuelve relevante realizar experiencias de aprendizaje STEM que contribuyan a consolidar esta propuesta de enseñanza de diseños corporeizados de percepción-acción. Motivados por los antecedentes expuestos, el objetivo de este estudio es comprender el proceso de enseñanza y aprendizaje enactivo y ecológico de estudiantes y profesores que participan de entornos educativos STEM, para realzar la importancia que tiene la construcción de artefactos en la comprensión de contenidos integrados a través del modelamiento matemático mediado pedagógicamente. Este estudio pondrá énfasis a tres aspectos elementales de la experiencia STEM en el aula: a) elaboración de diseños de enseñanza basados en la percepción-acción b) implementación del entorno educativo STEM en el aula c) descripción e interpretación de los aprendizajes enactivos y ecológicos a partir de registros etnográficos correspondientes a casos emergentes. A partir de esta experiencia reportada mediante datos cualitativos de diseño etnográfico, se busca evidenciar el proceso de la enseñanza y el aprendizaje en STEM,

a través de la propuesta analítica del bucle dinámico enactivo y ecológico de la cognición y el aprendizaje. Así mismo, el estudio busca explorar nuevas vías de mejora que contribuyan a reformular progresivamente el paradigma monolítico de la enseñanza parcelada y el cognitivismo imperante, mediante las propuestas de diseño de la enseñanza integrada basada en la percepción-acción.

2. Antecedentes

Los resultados en evaluaciones estandarizadas como TIMMS y PISA revelan que la educación latinoamericana comparada con países de la OCDE, aún no otorga garantías de equidad y calidad, siendo una de las causas la permanencia en sus currículos de resabios cognitivistas que colocan énfasis en los contenidos y en el procesamiento de información por sobre el desarrollo de habilidades sensoriomotoras, creativas y colaborativas (Bellei y Morewietz, 2016). En la actualidad, gran parte de las instituciones educativas aún trabajan con protocolos que incluyen planes de estudio, recursos y una mayoría de prácticas pedagógicas vinculadas al paradigma cartesiano que se caracterizan por su énfasis memorístico, desacoplado de la acción y la percepción para el aprendizaje.

La necesidad de un cambio de paradigma que permita reformular las concepciones cognitivas basadas en el procesamiento de información y el aprendizaje como una mera respuesta adaptativa a un medio que existe con independencia de su experiencia, ya está teniendo lugar en la literatura de ciencias cognitivas, la cual se nutre de la filosofía post-cartesiana de corte pragmatista (Dewey, 1944), epistemología genética (Piaget, 1968), mediación sociocultural (Vygostky, 1978), sistemas autónomos (Maturana y Varela, 1973) y epistemología circular (Bateson, 2015). El núcleo de las ciencias cognitivas es la cognición corporeizada que abarca la cognición enactiva (Varela, Thompson y Rosch, 1991), cognición extendida (Clark y Chalmers, 1998), psicología ecológica (Gibson, 1979) y otras perspectivas afiliadas que remplazan la visión clásica de la cognición como procesamiento de la información por la de sistema cognitivo encarnado.

Desde la cognición corporeizada, la cognición es vista como inherentemente encarnada, situada y antirepresentacionalista, lo que refleja que la cognición no es algo que podamos reducir al mero operar interno del cerebro y tampoco algo que se especifica desde el entorno, sino que emerge de la dependencia constitutiva entre cerebro-mente-entorno (Fuchs, 2017). Al considerar las perspectivas cognitivistas más influyentes de los últimos veinte años, el enactivismo y la psicología ecológica lideran en materia de investigación. El enactivismo considera que los sistemas cognitivos son agentes autorreferenciales que definen sus propias identidades sistémicas y representan sus propios entornos inherentemente significativos, a través de procesos conductuales plásticos de creación de sentido (Froese y Di Paolo, 2011). Por otra parte, la psicología ecológica aboga por la naturaleza conjunta de la percepción y la acción, en que no hay comportamiento deductivo de entrada, elaboración y salida de información como es propio del núcleo epistémico del cognitivismo, sino más bien, la percepción y la acción se presentan como aspectos mutuamente constitutivos que emergen del mismo evento mediante oportunidades para la acción o *affordances* (Gibson, 1979).

La incorporación del enactivismo y la psicología ecológica a los marcos curriculares que orientan el aprendizaje en los programas de estudio, resulta fundamental para disminuir la brecha entre experiencia y contenido técnico de los escolares, ya que en sus núcleos radica el énfasis de la percepción sensoriomotora para la ejecución eficiente de movimientos ecológicamente acoplados y orientados a objetivos del entorno que sintonizan con sus experiencias (Gallagher, 2017). Al preguntarnos, ¿cómo instalar estos nuevos enfoques enactivos y ecológicos de la cognición que permitan abdicar del predominio cognitivista y la enseñanza mono-

lítica? STEM se presenta como un campo auspicioso de desarrollo de habilidades tecnológicas especializadas que conlleva el surgimiento de estructuras perceptuales sensoriomotoras que dan paso a formas de pensar situadas, a través del aprender haciendo. Este foco puesto en el hacer resalta el patrimonio evolutivo ligado al Homo Faber que resignifica la primacía de la creación o el compromiso material creativo en la vida y evolución humana. De este modo, los seres humanos nos constituimos a través de la fabricación y el uso de tecnologías que dan forma a nuestras mentes mediante la acción de la percepción (Ihde y Malafouris, 2019). STEM se considera clave para la preparación profesional postindustrial en el uso de actividades educativas que promuevan el surgimiento de habilidades especializadas en ciencias a través del involucramiento de la percepción sensoriomotora, la creatividad y el aprendizaje cooperativo (Kelley y Knowles, 2018).

STEM como entorno educativo basado en la integración curricular en las escuelas, reacciona en contra de la centralización y parcelación del conocimiento disciplinar, pues considera que la división del conocimiento en compartimentos inmanentes producto de la especialización del profesorado y la separación de asignaturas, se opone a la idea de promover un aprendizaje integrado que proporcione claves para entender el mundo en su complejidad. La evidencia que relaciona a STEM y el enactivismo es incipiente y solo ha abordado algunos aspectos. Véase por ejemplo, Hadani y Rood (2018) acerca del involucramiento sensoriomotor en la comprensión de contenidos científicos, Weisberg y Newcombe (2017) respecto del uso de estrategias alternativas de exploración sensoriomotora que permiten a los estudiantes conectar el mundo científico abstracto con el mundo de la experiencia, Hutto et al. (2015) sobre los mecanismos de exploración experta basado en las anclas atencionales que modulan la comprensión de conceptos a partir de la acción sensoriomotora y Abrahamson et al. (2020) acerca del futuro de STEM como diseño corporeizado basado en la percepción y la acción para la enseñanza de las matemáticas y las ciencias. La relevancia de estos estudios se da en la comprensión de la cognición y el aprendizaje a partir de la generación de nuevas estructuras sensoriomotoras que producen nuevas formas de percibir, lo que conlleva a la reconfiguración del conocimiento intuitivo en nociones matemáticas abstractas con utilidad tecnocientífica (Goldstone, Landy y Son, 2010).

3. Descripción de la experiencia

En el marco de investigaciones basadas en diseños enactivos y ecológicos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, véase Hutto et al. (2015), la presente experiencia se adscribe a los principios metodológicos de diseño corporeizado basado en la percepción-acción de STEM (Abrahamson et al., 2020). STEM desde una perspectiva enactiva y ecológica se presenta como un nicho ecológico-especializado, en el sentido que tiende a incitar la capacidad filogenética temprana de los estudiantes a la exploración y control manual, así como el lenguaje experiencial desarrollado en la ontogenia para la comprensión de conceptos científicos. La idea de nicho ecológico tomada en esta investigación proviene del concepto desarrollado por Maturana y Dávila (2015) al referirse “al espacio relacional que contiene y hace posible el operar de un ser vivo como organismo en la realización particular de su vivir. Un organismo no existe fuera del nicho ecológico que lo hace posible, ya que el organismo y su nicho se constituyen recíprocamente de manera inseparable” (p. 159).

Cuando se hace referencia al nicho ecológico especializado se atribuye a la idea que los conceptos y artefactos tecnocientíficos requieren de ciertas conductas específicas que en este estudio, se presentan como un paisaje de posibilidades sociales disponibles en una determinada forma de vida que favorece la expansión tecnocientífica de las habilidades configuradas en la experiencia sociocultural (Rietveld y Kiverstein, 2014). Es por esto que el propósito fundamental de STEM consiste en promover la manipulación tecnológicamente mediada de

materiales u objetos virtuales que sintonicen con los intereses y experiencias de los estudiantes. Esto conlleva a que los primeros movimientos motores espontáneos de interacción con los artefactos tecnocientíficos, se transformen producto de la mediación pedagógica ecológica en esquemas corporales más complejos que emergen de nuevas estructuras perceptuales sensoriomotoras. A su vez facilitan y regulan el control motor efectivo de la comprensión conceptual.

Para llevar a cabo el estudio se consideraron tres fases: 1. integración curricular para el diseño corporeizado de percepción-acción STEM; 2. implementación de diseño corporeizado de percepción-acción STEM. 3. descripción e interpretación de la experiencia de aprendizaje STEM. Con la finalidad de describir la cognición y el aprendizaje de los estudiantes desde una perspectiva ecológica, se utilizó un diseño de investigación etnográfico que permitiese a través de la observación ofrecer mejores oportunidades para comprender la reconfiguración de habilidades sensoriomotoras intuitivas en habilidades más expertas de agarre óptimo y comprensión conceptual. La selección del diseño etnográfico desde una perspectiva ecológica y enactiva, resulta fundamental para comprender la complejidad del entorno y las relaciones sociomateriales que se despliegan. Esta decisión es consistente con los trabajos en ciencias cognitivas de [Rietveld y Brouwers \(2016\)](#) que exploran el entrelazamiento de lo material y lo social en diseños de acción mediados por prácticas ecológicas. Sumado a esto, se reconoce que el diseño etnográfico da realce a la ecología de interacciones en el aula de clases.

En relación al contexto de estudio, se trabajó con un colegio municipal de la Comuna de Coquimbo, cuyos directivos animados por las sugerencias de innovación curricular del [Ministerio de Educación \(2020\)](#) decidieron incorporar a su plan de mejoramiento educativo algunas actividades STEM que contribuyesen al aprendizaje de profesores y estudiantes. Para esto, se trabajó intencionadamente con dos profesores de educación general básica y estudiantes de un tercer año básico. Se escogió este curso de primer ciclo de enseñanza básica debido a que el profesor de educación general básica es quien enseña las asignaturas de matemáticas, ciencias naturales y tecnología. Por otra parte, STEM resulta beneficioso en la optimización de la gestión pedagógica para el aprendizaje a través de la integración curricular en un mismo curso. Generalmente, los profesores de enseñanza básica deben gastar mucho tiempo planificando y diseñando clases para todas sus asignaturas, no obstante, bajo el enfoque de diseño corporeizado de percepción-acción STEM, estos pueden generar una planificación dinámica que rompa con los límites inmanentes de cada disciplina haciendo circular el conocimiento y contribuyendo así al aprendizaje profundo desde la integración curricular ([Pellegriño y Hilton, 2012](#)). El aprendizaje profundo consiste en la habilidad de transferir los conocimientos a diferentes contextos. Así mismo, se justifica trabajar con el primer ciclo básico, ya que ante la pretensión de afianzar el diseño STEM en cursos superiores, como es el segundo ciclo básico y la enseñanza media, se requiere consolidar primero en niveles escolares de educación parvularia y educación general básica. A continuación se dan a conocer las fases implementadas:

Fase 1: Integración curricular para el diseño corporeizado de percepción-acción STEM

La integración curricular utilizada en este estudio correspondió a la integración paralela, la cual según [Montenegro \(2016\)](#) consiste en planificar y enseñar ciencias, matemáticas y tecnología a través de conceptos análogos que son tratados en cada asignatura mediante un objetivo de aprendizaje integrador. Para llevar a cabo lo anterior, y con el objetivo de diseñar un entorno educativo que promueva situaciones especializadas en forma de nicho ecológico, nos reunimos con los profesores de enseñanza básica para seleccionar los objetivos de aprendizaje de cada asignatura y establecer a partir de estos un objetivo integrador. En este aspecto y según [Araya \(2016\)](#), el objetivo integrador debe contemplar la habilidad de modelamiento

matemático, ya que permite articular los conocimientos de ciencias, las habilidades motrices de creación tecnológica y el formalismo matemático. Finalmente, y considerando que cada configuración de entorno educativo STEM debe sintonizar con los intereses y habilidades de los estudiantes, se les realizaron a estos algunas entrevistas para explorar qué les gustaba hacer y qué les motivaba a aprender. La gran mayoría optó por video juegos y actividades deportivas, así como también el desarmado y armado de cosas. En este último punto es que se consideró para el diseño de STEM, la construcción de un dinamómetro como artefacto tecnológico. El objetivo de escoger la construcción de este artefacto se basó en los siguientes aspectos:

a) La tendencia a utilizar a STEM en diversos estudios, está en poder contribuir a resolver una problemática global o local que pueda comprometer esfuerzos en otorgar una potencial solución o por lo menos esbozar alternativas posibles. En este marco, la profesora de tercer año básico consideró como problemática nacional los indicadores de sobrepeso en la población infantil, por lo que surgió la necesidad de que cada estudiante pudiese construir una minuta saludable en relación con el peso de los alimentos que son necesarios para estimar una porción. Esta problemática de la población chilena es intencionada en el programa de estudio correspondiente a ciencias naturales de tercer año básico. Para abordar esta problemática se decidió que cada estudiante pudiese construir un dinamómetro y así pudieran estimar el peso de los alimentos, a través del cálculo de cuántas porciones se requieren para elaborar una minuta que sea saludable.

b) La construcción del dinamómetro es pertinente con las orientaciones del programa de tecnología que incita la creación de artefactos tecnológicos. Considerando esto y siendo coherente con las nuevas perspectivas contemporáneas de la cognición como son la enacción y la psicología ecológica que sustentan los diseños corporeizados de percepción-acción, la creación de artefactos suscita el despliegue de habilidades sensoriomotoras que sirven de base para la co-creación de sentido y la co-construcción de conceptos. Estas habilidades inician con la exploración y control manual de objetos físicos que aluden al movimiento espontáneo, luego, estos movimientos se reconfiguran producto de la paridad funcional o logro cognitivo estratégico en movimientos con sentido. Posteriormente la acción con los objetos físicos reconfigura la percepción tangible en cualidades de objetos matemáticos producto de la paridad inferencial o comprensión conceptual. Producto de la acción de la percepción con los artefactos tecnológicos, emergen habilidades científicas que brotan de la experiencia de cada escolar, que son transferidas a distintas situaciones formales de modelamiento matemático debido al aprendizaje ecológico.

c) La función habilitante del dinamómetro consiste en percibir la variación de la elasticidad del resorte y la graduación que marca la aguja al sostener alimentos de diferentes pesos. Esto se debe a que los movimientos de extensión y contracción que experimenta el dinamómetro al sostener distintos alimentos, se traducen en cambios de graduación en centímetros y milímetros. A partir de lo anterior, los estudiantes pueden ver cambios en la graduación como relaciones proporcionales que emergen de la encarnación de la percepción, en la medida que asocian el peso estimado de los alimentos en función de los centímetros registrados. En este sentido, los estudiantes establecen que a mayor peso, mayor graduación en centímetros, lo que refleja una relación de proporcionalidad directa. Lo relevante de esta actividad, es que las relaciones proporcionales emergen de los cambios en la percepción producto de la acción con el artefacto STEM. Posteriormente los cambios en la percepción se formalizan a través de la estrategia de cálculo denominada regla de tres simple y la resolución de problemas de proporcionalidad que se pueden encontrar en la unidad de patrones y álgebra del programa de matemáticas en tercer año básico.

ontogenéticos pensamos ambos aspectos interrelacionados, de tal manera que el patrimonio biológico evolucionado de nuestra especie humana, resulta co-dependiente de las variaciones culturales (Abrahamson y Sánchez-García, 2016). Más específicamente consideramos que los objetos matemáticos y científicos resultan de acciones sensoriomotoras multimodales que emergen de problemas situados de interacción adaptativa, ya sea natural, cultural, social o combinaciones de los mismos, también denominada epigenética cultural (Abrahamson y Trninic, 2015). A través del bucle dinámico enactivo y ecológico, hacemos alusión a cuatro estados fundamentales por el cual la cognición y el aprendizaje se reconfiguran y especializan en entornos educativos STEM y que a dado el contexto tecnocientífico en que se enmarca, tienden a la comprensión conceptual producto de la acción de la percepción. Los cuatro estados desde una perspectiva ecológica y enactiva van desde la noción de agarre óptimo al control óptimo, modulados por la mediación pedagógica que corresponde al ámbito de la educación formal y la mediación sociocultural alusiva a la educación informal. A continuación se operacionalizan teóricamente:

a) Exploración y control manual: estado en el cual cada persona, al manipular o percibir visual y auditivamente algo, despliega un conjunto de movimientos y agarres espontáneos que le permiten reconstruir recuerdos de objetos, a través de esquemas sensoriomotores que inducen sentidos. El dominio relacional de este estado, es generalmente autónomo y tendiente a los principios de aprendizaje autodeterminado o heurística. A medida que se van realizando las acciones con los objetos surgen intuiciones e hipótesis que se van definiendo cada vez que el agarre sintoniza de mejor manera con las características de los objetos.

b) Paridad funcional o logro cognitivo estratégico: estado en el cual cada persona de manera individual o colaborativa, explora de múltiples maneras los objetos, atribuyéndoles utilidad conceptual científica o matemática. Estos cambios de acciones que implican nuevas formas de pensar con los objetos, son inducidos por la descarga cognitiva que se da a través de un mayor compromiso atencional y extensión de la memoria de trabajo. Ambos aspectos se nutren de la familiaridad de la experiencia que va tomando la sintonización de las percepciones y las acciones con los objetos. A partir de esto, aparece el pensamiento creativo y las primeras conjeturas e hipótesis acerca de la funcionalidad de los objetos, por sobre sus características físicas. Por otra parte, se suma la colaboración entre pares, permitiendo maximizar las posibilidades de comprensión y por ende, el manejo de la complejidad de la tarea. Aquí el agarre óptimo se manifiesta al convertir objetos tangibles que imponen sus propias reglas, por el de movimientos físicos que se orientan hacia formalismos matemáticos.

c) Paridad inferencial o comprensión conceptual: estado en el cual cada persona de manera individual o colaborativa puede extender la función de los objetos tangibles a objetos matemáticos formales como formas, gráficos y símbolos. Esto se debe a que, psicológicamente, los objetos matemáticos son tratados como objetos físicos mediante recursos cognitivos de tipo metafórico y analógico. Ambos recursos son propiciados por el mapeo perceptual y kinestésico, en que notaciones matemáticas o formalismos son posibles de comprender como si fueran objetos que se pueden recoger y mover. En este sentido, las acciones tecnocientíficas resultan relevantes como recurso ideomotor útil para propiciar el razonamiento y el modelamiento matemático. Gestos, expresiones y movimientos son considerados formas del pensamiento que tienden a revelar aspectos del conocimiento en la medida que se avanza hacia el control óptimo de la tarea. Aquí es fundamental el apoyo de maestros y/o compañeros más avanzados para facilitar el andamiaje en la mediación del objeto tangible hacia un objeto matemático.

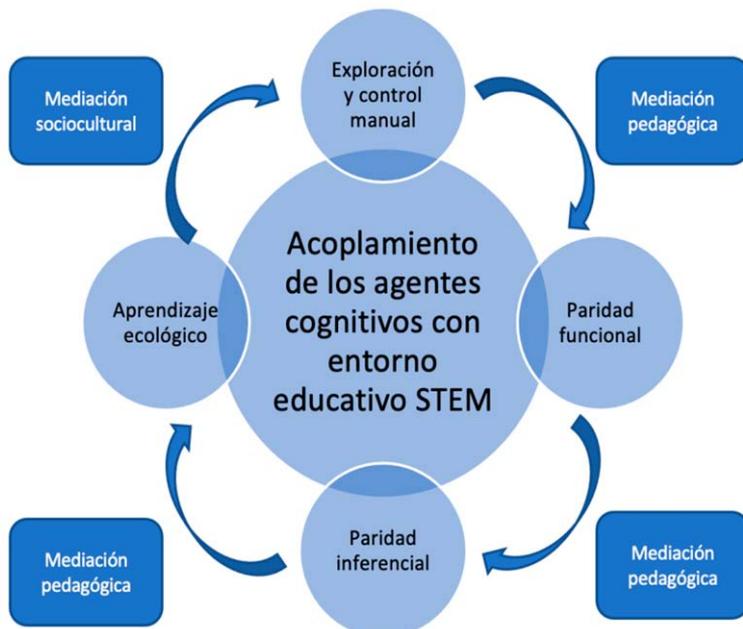
d) Aprendizaje ecológico o transferencia: estado en el cual cada persona, de manera individual o colaborativa, puede transferir a través de un control óptimo de la tarea, aspectos del conocimiento tecnocientífico aprendido a diferentes contextos. Aquí los objetos tangibles

en forma de artefactos tecnológicos y su función respectiva, pueden expandir los dominios de representación formal a diversas situaciones, ya sean matemáticas, tecnológicas, científicas y artísticas, etc. En este estado generalmente se pueden resolver problemas a través del razonamiento y el modelamiento matemático, en que cada formalismo es impulsado como recurso ideomotor propiciando un alto grado de acoplamiento entre la persona y su nicho ecológico. Acá la cognición y el aprendizaje extienden sus dominios de interacción formal del aula hacia otros dominios socioculturales que tienden a maximizar o restringir la plasticidad conductual.

Estos cuatro estados del comportamiento deben entenderse como eventos cambiantes que se reconfiguran históricamente, a través de una dinámica circular recursiva en forma de bucle. Lo anterior, se justifica desde la teoría enactiva y ecológica, en la medida que cada cambio es coherente al nicho ecológico de cada estudiante, por lo tanto, ante una misma solicitud habilitante del entorno traducido en un diseño tecnológico, las oportunidades de acción o *affordances* varían según la experiencia resultante de cada uno de estos (Gibson, 1979). De esta forma, el mutualismo de constitución recíproca de la cognición y su nicho ecológico, se expandirá según la implicación sociomaterial que despliegue el estudiante durante la mediación pedagógica y la mediación sociocultural fuera de la escuela. En la medida que los estudiantes participan en actividades de creación de artefactos materiales que se basan en sus intuiciones perceptivas tempranas de propensión a aprender, son capaces de conciliar perspectivas ingenuas a través de variaciones sensoriomotoras y científicas sobre fenómenos cotidianos, reformulando sus hipótesis e intuiciones previas en formalismos matemáticos.

Figura 2

Bucle dinámico enactivo y ecológico de la cognición y el aprendizaje.



4. Resultados y discusiones

A continuación se presentan los ejes o categorías fundamentales ligadas al ciclo de aprendizaje enactivo y ecológico que corresponden a las etapas descritas de manera etnográfica en la implementación del entorno educativo STEM. En este apartado se analizaron expresiones del lenguaje verbal y no verbal provenientes de diálogos individuales que emergieron durante el curso de la actividad.

4.1 Mediación pedagógica

Profesora: Ya niños y niñas, hoy día vamos a crear un artefacto tecnológico para poder dar respuesta a nuestras necesidades tratadas en la clase anterior de ciencias y referidas a la alimentación.

Alumno 1: Ah verdad. ¿Qué haremos?

Profesora: Haremos un dinamómetro. ¿Saben qué es o en qué consiste?

Alumno 2: No.

Alumno 3. Más o menos, algo así como una balanza dijo el otro día.

Profesora: Algo así, pero será mejor que ustedes descubran lo que es haciéndolo. Una pista que les puedo dar, es que sirve para estimar el peso de los objetos. ¿Se imaginan qué puede ser?

Alumno 4: Una pesa. De esas que hay en la feria profesora.

Profesora: Tiene que ver con la función de las pesas, muy bien. Pero, qué características debe tener para ser una pesa?

Alumno 4: Un soporte, algo así como una base que cuelga.

Alumno 5. Sí, pero con una aguja o cosa roja que se mueve indicando números.

Profesora: Muy bien. ¿Qué indicaría esa aguja y cosa roja que se mueve?

Alumno 5: El peso. Yo he visto que colocan frutas o verduras encima y la aguja se mueve.

Alumno 6: Si, y entre más objetos uno eche, más se mueve la aguja.

Profesora: Interesantes ideas. ¿Les gustaría crear algo similar a la pesa? Vamos a trabajar con el dinamómetro. Revisen los materiales que se les entregarán para que los construyan.

En este fragmento, que alude a la mediación pedagógica y que está presente en diferentes transiciones de la clase, se puede interpretar que la profesora utiliza la recapitulación temática como propulsor de los nuevos contenidos, lo cual es favorable para dar continuidad de sentido entre los contenidos tratados anteriormente y los que vendrán. Se releva también la importancia de la co-construcción de sentido de la actividad, a medida que la profesora va hilvanando las experiencias y los conocimientos previos de los estudiantes a través de preguntas que van surgiendo de ellos. Esto es relevante, pues los estudiantes se implican y en conjunto van dando forma a sus expectativas de la actividad y preparando sus potenciales acciones producto de la sensibilización afectiva que resuena con sus estructuras sensoriomotoras. Así, comienzan a aparecer ideas y fugaces razonamientos en los estudiantes al evocar sus experiencias socioculturales con mayor intensidad, ya que la profesora sustrae de la interacción pedagógica la referencia objetiva del asunto temático, permitiéndoles en la situacionalidad de la mediación, irradiar otras relaciones posibles no contenidas como un conocimiento en sí, sino un conocimiento en curso que deviene en la acción conjunta.

4.2 Exploración y control manual

Profesora: Ya niños y niñas, miren la pizarra. Allí están dibujados cada uno de los elementos o pizas que tienen. ¿Cuéntenme qué ven?

Alumno 1: Tubos.

Alumno 2: Pernos y tuercas.

Alumno 3. Resorte y unos ganchos.

Alumno 1: Profesora, para qué sirven los ganchos?

Profesora: ¿Para qué creen ustedes? Piensen donde lo han visto antes.

Alumno 4: Para colocar cosas po. Tienen forma de una U.

Profesora: ¿Conocen los resortes? ¿Para qué sirven?

Alumno 3: Sí, son unas cositas que les ponen a la cama y la cama hace así y después rebota (muestra con el movimiento de suspensión con sus manos).

Investigador: ¿a quién le gusta construir cosas?

Alumnos (varios): A mí.

Investigador: ¿Por qué creen que es importante construir cosas?

Alumno 5: porque es divertido.

Investigador: ¿Por qué es divertido?

Alumno 6: Para la imaginación.

Investigador: Ya ¿Cómo es eso?

Alumno 6: por ejemplo si no tenemos nada podemos construir cosas nuevas.

En este apartado, los estudiantes se aproximan hacia los materiales de construcción del dinamómetro de manera intuitiva. Para esto, manipulan, observan y emiten preguntas. La profesora estratégicamente les endosa la responsabilidad de que ellos descubran o definan la función del dinamómetro y así esgriman hipótesis o conjeturas sobre su utilidad. Esto les permite estimular sus recuerdos en la medida que tienden a asir con los sentidos los objetos materiales. De aquí la importancia del esquema corporal, quien a través de la memoria corporeizada posibilita recuerdos explícitos del pasado que se reactualizan en el presente a través de disposiciones, habilidades y hábitos adquiridos que se reconfiguran durante el curso de la experiencia (Fuchs, 2017). Por otra parte, promover un contexto dinámico que va de la mediación pedagógica al aprendizaje autodeterminado o heutagogía (Ashton y Newman, 2006) reemplaza la idea de que un contexto es un espacio físico estático por la idea un lugar dinámico, ya que las interacciones que los estudiantes experimentan emergen en múltiples tiempos y espacios. Esta noción dinámica de intercambio y expansión habilidosa de los estudiantes, en reciprocidad con las transformaciones del entorno sociomaterial es lo que se denomina nicho ecológico. De hecho, se puede evidenciar en las respuestas de los estudiantes que son enactuadas, es decir, explicaciones que son vehiculizadas mediante acciones kines-tésicas, como es el caso en que un niño ostenta con el movimiento de las manos una forma de asir el concepto de suspensión. Estas primeras ideas y la conexión con sus experiencias comienzan a proporcionar un significado atmosférico de lo que podría llegar a ser el dinamómetro. Se puede advertir también, el goce que implica para los estudiantes construir, pues estimula la imaginación a crear cosas nuevas según lo enunciado por un estudiante.

4.3 Paridad funcional: logro cognitivo estratégico

Profesora: Ahora pueden ir ensamblando los materiales que son los tubos de pvc, dos pernitos, tuercas, graduación con una agujita y un resorte. Guíense por el esquema de la pizarra, pero antes ¿por qué creen que necesitamos un resorte?

Alumno 3: Yo sé, porque cuando se pone el resorte así (muestra el resorte de forma vertical con las manos) el mecanismo va a funcionar y va a funcionar esa aguja ¿o no? (indica con el dedo índice la aguja que se mueve en la graduación de centímetros que tiene el dinamómetro).

Investigador: Muy buena hipótesis.

Alumno 7: Yo, para que después cuando uno mida algo el resorte empiece a rebotar y entonces caiga, caiga para abajo con el peso y entonces ahí se sepa.

Profesora: Ya, pero aclaremos algo. ¿Eso de caer el resorte a que se debe?

Alumno 4: Cuando uno pone la fruta en el resorte se va a ir para abajo y entonces va a llegar lo más abajo posible.

Profesora: Correcto. Sin embargo, a esa función de hacer que se vaya para abajo le llamaremos elasticidad.

Alumno 3: Como los elásticos, uno los estira mucho y después se devuelven.

Investigador: Así es, los resortes tienen una función elástica. La pregunta que les hago es, ¿dónde es el máximo que llegaría uno de nuestros resortes? y ¿de qué depende su elasticidad?

Alumno 8: El resorte está dentro del dinamómetro y ahí va a estar colgado el gancho en el resorte y después cuando cuelguen las cosas se va a ir para abajo el resorte y eso va a hacer que la flechita se mueva (muestra el dinamómetro y con sus dedos explica el movimiento).

Alumno 9: Profesora, depende de lo que cuelgue en el dinamómetro.

Profesora: Interesante, fíjense en lo que la compañera. Ella dice que al colocar algo acá (muestra el dinamómetro), cualquier objeto se extiende ¿cierto? Porque el resorte tiene esa condición de elasticidad, es decir, ese movimiento que hace que los objetos se extiendan o recojan según su peso. Por lo tanto ¿qué va a generar una medida? ¿Qué se va a generar con la extensión o disminución del elástico?

En este fragmento, se puede evidenciar que las exploraciones ingenuas e intuitivas sobre la función de los materiales en la construcción del dinamómetro, comienzan a reconfigurarse en exploraciones con utilidad científica. Esto se puede evidenciar producto de la especialización que va tomando la percepción en la medida que se comienza a ensamblar las piezas. Tal es el caso del alumno que hace referencia “la función del resorte como mecanismo que produce un cambio en la posición de la aguja” a través de la manipulación y el gesto indexical. Las distinciones como la mencionada y aquellas más profundas acerca de que “el movimiento de elasticidad es como algo que cae y vuelve” o “aquello que se extiende y recoge”, tienen directa relación con la función del mecanismo y surgen a partir de las anclas atencionales y extensión de la memoria de trabajo dada por el compromiso sociomaterial de la actividad con la construcción del dinamómetro. Lo anterior es fundamental, pues las anclas atencionales son la base de la aparición de nuevos esquemas sensoriomotores que fundamentan posibles conceptos matemáticos (Hutto et al., 2015). Desde una perspectiva ecológica, la especialización de la percepción modifica la acción con el dinamómetro, así como la acción con el dinamómetro modifica la especialización de la percepción. A nivel enactivo, la coordinación sensoriomotora entre los esquemas de acción visual y manual contribuyen a la creación de sentido. Concomitante a lo anterior, la mediación pedagógica y la participación conjunta de

los estudiantes con preguntas e intervenciones situadas, contribuyen a maximizar las posibilidades de comprensión y facilitar el agarre óptimo del sentido de la experiencia.

4.4 Paridad inferencial: comprensión conceptual

Profesora: ¿Observan? ¿qué tiene el dinamómetro? Ahora si colocamos una porción de comida ¿cómo vamos a saber el peso que tiene?

Alumno 1: Por el elástico, porque si uno coloca algo más pesado el elástico se va a ir más abajo y eso es que pesa mucho.

Investigador: Si el resorte se estira mucho quiere decir ¿qué?

Alumno 11: Que pesa mucho.

Profesora: ¿Cómo puedo saber cuánto pesa aproximadamente? Miren su dinamómetro, ¿qué indica la extensión del resorte? ¿Dónde está el resorte?

Alumno 8: Se mueve la agujita de 0 a 2 cm.

Profesora: Buena observación. ¿Cuántos cm se movió? ¿Por qué solo 2 y no más?

Alumno 3: Porque la manzana decían que pesaba 100 gramos y marcaba eso.

Profesora: Y si colocó una manzana que haga que la aguja se mueva a 4 cm, ¿cuánto pesa entonces la manzana? ¿Cómo pueden saberlo?

Alumno 3: ¿200 gramos?

Profesora: Ya, y ¿por qué? ¿cómo lo supo?

Alumno 3: Porque al pesar 100 gramos se movió 2 cm y si se mueve 4 cm, que es el doble de 2, entonces pesa dos veces 100. O sea 200 gramos.

Profesora: Muy bien. ¿Se dieron cuenta niños del razonamiento de su compañero? ¿Qué pasaría por ejemplo si yo coloco una manzana que pesa 600 gramos, cuánto cm se debería mover la aguja?

Alumno 5: 6 cm.

Alumno 1: 12 cm.

En este apartado, las hipótesis propuestas en sobre la función del mecanismo del dinamómetro son sometidas a su comprobación a partir de la experimentación sensoriomotora. Esto es propiciado por la mediación semiótica que llevan a cabo la profesora y las intervenciones del investigador, quienes utilizan la interrogación sistemática para devolver el protagonismo a los estudiantes en la co-construcción conceptual. Es relevante evidenciar, cómo los cambios en la percepción le otorgan ventajas a la acción y viceversa. Lo anterior se puede confirmar en el momento que los estudiantes van asignándoles a los cambios en la elasticidad del resorte una determinada numeración, la que se obtiene de la graduación en centímetros que registra el dinamómetro. Sin predeterminación alguna, sino que solo a través de la construcción y experimentación del artefacto tecnológico, los estudiantes comenzaron a “ver una cosa en términos de otra”, por ejemplo, cambios en la magnitud de graduación y su relación con el peso de los alimentos. A este proceso de encarnación analógica se le suele llamar metaforización enactiva que es considerada fundamental para la comprensión de conceptos abstractos en matemáticas (Díaz et al., 2021). Es a través de estas acciones que los estudiantes logran percibir relaciones proporcionales al manipular objetos tangibles como es el caso del dinamómetro. Aquí se releva la utilidad del recurso ideomotor para propiciar el razonamiento proporcional que tiende al control conceptual óptimo.

4.5 Aprendizaje ecológico: transferencia al contexto

Profesora: Es hora que resolvamos unos problemas en la pizarra. Piensen el siguiente, si al colocar medio de kilo de arroz en el dinamómetro, la aguja muestra 3 cm, ¿cuántos cm serían un kilo de arroz?

Alumno 5: 6 cm.

Profesora: ¿Cómo lo podrían representar matemáticamente? Vamos, díctenme ustedes.

Investigador: ¿Conocen la famosa regla de tres simple?

Alumno 9: No.

Profesora: Hagámosla de una vez. Buena idea investigador. ¿Qué valores tienen?

Alumno 1: 3 cm y medio kilo de arroz.

Profesora: ¿Cuánto es un medio kilo de arroz?

Alumno 3: 500 gramos.

Investigador: ¿Entonces qué valores tendríamos?

Alumno 1: 3cm y 500 gramos.

Profesora: ¿Por qué valor le estoy consultando?

Alumno 7: Centímetros.

Profesora: Bien. Esa es su incógnita, los centímetros. Por lo tanto tendríamos que separar en dos lados, un lado los gramos y en otro lado los centímetros. Luego deberían colocar al frente los valores que tienen y el que no, deben colocar una X que representa una incógnita. Anótenlo, ¿cómo les quedaría?

Alumno 5: 500 gramos = 3cm y debajo, 1kg (1000 gramos) = X.

Profesora: Ahora multipliquen cruzado y dividan por el valor que acompaña la X. ¿Cuánto les da?

Alumno 3: 600

Alumno 1: Era más fácil saber que es el doble de peso y mejor multiplicaba por dos el 3 y me daba 6 igual.

Profesora: Esa es la idea, que busquen regularidades, como dobles, triples y en casos especiales ocupar la regla de tres simple. Ahora, cuánto cm serían si tengo 250 gramos de arroz.....

En el presente fragmento, es posible evidenciar cómo las relaciones entre la magnitud de dilatación que exhibe el dinamómetro y el peso de diferentes cargas, se pueden modelar a través de relaciones proporcionales. Para esto, la profesora comienza a proponer actividades de resolución de problemas y ejercicios aritméticos que aluden al uso del formalismo de la regla de tres simple. Cuando los estudiantes experimentan con el dinamómetro pueden traducir simultáneamente la acción de la percepción en formalismos como; $500:1000= 3:X$, además pueden dar sentido a estos símbolos mediante los cambios en el peso de la carga que someten y la magnitud de graduación que resulta de la elasticidad del dinamómetro. Es importante resaltar en este apartado, que la habilidad desplegada para traducir los cambios en la percepción en formalismos corresponde al modelamiento matemático. Éste puede verse reflejado en la representación algebraica que se obtiene de las diferentes experimentaciones con el dinamómetro, cuando en los estudiantes registran en variables los cambios de las diferentes cargas para estimar su peso. Así mismo, emergen otras habilidades de pensamiento matemático como es el pensamiento multiplicativo, el lenguaje algebraico, la resolución de problemas, la habilidad de comunicar y argumentar que tributan al método COPISI propuesto en las bases curriculares de matemáticas. En la medida que las habilidades emergen y se acoplan efecti-

vamente a las situaciones de resolución de problemas, el control óptimo entre los estudiantes y el artefacto se prolonga a nuevas rutas de exploración para la acción y la percepción que abren vías conceptuales inéditas en formas de nichos ecológicos más especializados que el anterior. Finalmente y a modo de articular las experiencias desplegadas por los estudiantes y profesores durante la aplicación de STEM con las bases curriculares, se presenta lo siguiente:

Tabla 1

Matriz de tributación entre experiencias STEM y objetivos de aprendizaje y habilidades de las bases curriculares de las asignaturas.

Ciencias	Tecnología	Matemáticas	Experiencias de aprendizaje
OA-06. Clasificar los alimentos, distinguiendo sus efectos sobre la salud y proponer hábitos alimenticios saludables.	OA-03: Elaborar un objeto tecnológico para resolver problemas, seleccionando y demostrando dominio de: técnicas y herramientas para medir, marcar, cortar, plegar, unir, pegar, pintar, entre otras; materiales como papeles, cartones, fibras, plásticos, cerámicos, desechos, entre otros.		Los estudiantes escogen aquellos alimentos necesarios para construir su minuta saludable. Para poder elaborar la minuta con los pesos necesarios de cada alimento, los estudiantes comienzan a elaborar el dinamómetro. De esta manera exploran y manipulan las diversas partes que lo constituyen.
OA-HA: Observar, plantear preguntas, formular inferencias y predicciones, en forma guiada, sobre objetos y eventos del entorno.	OA-AA: Demostrar curiosidad por el entorno tecnológico, y disposición a informarse y explorar sus diversos usos, funcionamiento y materiales.		Los estudiantes formulan diversas preguntas en la medida que van ensamblando cada pieza. Aparece el razonamiento hipotético cuando examinan la utilidad de las piezas a partir de sus propias experiencias. Éstas se van reconfigurando con la mediación pedagógica.
OA-HC: Observar, medir y registrar datos en forma precisa, utilizando instrumentos y unidades estandarizadas, organizándolos en tablas, gráficos y utilizando TIC cuando corresponda.	OA-AB: Demostrar disposición a desarrollar su creatividad, experimentando, imaginando y pensando divergentemente.	OA-HC: Resolver problemas y transferir los procedimientos utilizados en situaciones ya resueltas a problemas similares.	Una vez que los estudiantes han construido el dinamómetro comienzan a experimentar su función colocando diversos alimentos. Los cambios en los pesos de los diferentes alimentos son observados y registrados. Aparece en los estudiantes la metafóricación como recurso semiótico que les permite comprender la relación entre el cambio de la magnitud en centímetros que exhibe el dinamómetro y el peso de cada alimento en gramos.

Comunicar y comparar con otros sus ideas, observaciones, mediciones y experiencias utilizando diagramas, material concreto, modelos, informes sencillos, presentaciones, TIC, entre otros.		OA-HJ: Modelar y expresar, a partir de representaciones pictóricas y explicaciones dadas, acciones y situaciones cotidianas en lenguaje matemático.	Los estudiantes comienzan a compartir sus resultados derivados de la experimentación del dinamómetro. Emerge el razonamiento proporcional a través de la mediación pedagógica de la regla de tres simple. Aparece el modelamiento matemático.
--	--	---	---

5. Conclusiones

Respecto a la experiencia presentada que consistió en comprender el proceso de enseñanza y aprendizaje enactivo y ecológico de entornos educativos STEM en un tercero básico, se encontró que STEM como nicho ecológico especializado basado en la mediación pedagógica ecológica, estimula la reconfiguración de habilidades sensoriomotrices o preconceptuales de los estudiantes en habilidades científicas y matemáticas. Esto resulta fundamental para abordar los desafíos del currículo de cada disciplina, a través de la integración curricular que releva el aprendizaje corporeizado, profundo y cooperativo que se promueven fundamentales para facilitar la comprensión de contenidos abstractos y responder a las demandas de nuevas habilidades de la sociedad postindustrializada. Para ilustrar lo anterior, se releva aquí la construcción de un dinamómetro como artefacto tecnológico STEM en que los estudiantes aprenden haciendo.

La importancia de STEM como diseño de enseñanza basado en la percepción y la acción, reside en relevar el patrimonio filogenético y ontogenético de los estudiantes y profesores al participar de procesos de enseñanza y aprendizaje que favorecen expansiones tecnocientíficas de la vida cotidiana en que gran parte de las formas de pensar y hacer se transfieren dentro de una ecología material que evoluciona desde la escuela al hogar y viceversa. Esto se evidencia cuando los estudiantes exhiben desde sus múltiples experiencias socioculturales formas de percibir para comprender la utilidad funcional del dinamómetro, lo que favorece la reconfiguración semiótica del objeto en la medida que perciben y actúan con él. En este sentido, se puede afirmar que las manos en movimiento y sus huellas materiales no solo externalizan el funcionamiento interno de una mente, sino que ilustran la historia de acoplamientos entre el cerebro, el cuerpo y la cultura (Malafouris, 2013).

A partir de lo anterior se desprende la idea de que la creación de un artefacto tecnológico STEM no obedece a un producto del pensamiento, sino a una forma de pensar. Esto se pudo evidenciar en los extractos de interacciones obtenidas en la etnografía que describen cómo los estudiantes al construir un artefacto, van emergiendo nuevas formas de percibir y moverse, por ende, nuevas formas de pensar. Otro aspecto relevante que se desprende del estudio es la riqueza interactiva que se produce entre profesores, estudiantes y objetos materiales. En este estudio se puede evidenciar que la acción sobre los objetos que dieron paso a la construcción del dinamómetro, no solo incrementa las oportunidades para la comprensión mediante la curiosidad, la manipulación y el razonamiento de los estudiantes, sino que también, amplifica las formas de mediación semiótica de los profesores. Esto se puede evidenciar en los diálogos reportados, en que la profesora utiliza la ostensión, la interrogación y la metáforización como estrategias de enseñanza en diferentes etapas de la clase. La variabilidad de estos recursos de mediación semiótica en situaciones de interacciones pedagógicas, son generalmente utilizadas por profesores competentes y destacados en Chile (Cornejo, Olivares

y Silva, 2011). Esto conlleva a pensar que los entornos educativos STEM podrían implicar un cambio positivo en la performance pedagógica de los docentes, lo que sería de gran riqueza para las organizaciones educativas que aspiren a mejoras sustentables en indicadores de desempeño y desarrollo social.

Finalmente consideramos un aporte relevante para el campo pedagógico la propuesta de un bucle dinámico enactivo y ecológico del aprendizaje que contribuye a la comprensión del progreso de los estudiantes según los lineamientos de las bases curriculares. Considerando que el entorno educativo STEM se presenta en forma de nicho ecológico especializado al considerar la experiencia sociocultural y el desarrollo sensoriomotriz como base del pensamiento abstracto, en este estudio reportamos cuatro estados que ilustran la trayectoria del cambio en la cognición y el aprendizaje: exploración y control manual, paridad funcional, paridad inferencial y aprendizaje ecológico. Estos estados dan cuenta de la sintonización ecológica y enactiva de la cognición, que va desde el agarre al control óptimo de la tarea, lo que se traduce finalmente en la emergencia del pensamiento científico a nivel individual y colectivo. A partir de esta reconfiguración de las estructuras sensoriomotoras producto de una rica mediación pedagógica, es posible evidenciar la trayectoria de cambios en las habilidades cognitivas en la medida que se desarrolla la experiencia STEM. Lo anterior resulta fundamental para la praxis pedagógica, ya que le permite a los docentes monitorear los niveles de comprensión en sus estudiantes, siguiendo en paralelo el cumplimiento de los indicadores de logro. En estudios futuros sugerimos incorporar a las actividades descritas en la dinámica enactiva y ecológica del aprendizaje, el apoyo de recursos para el aprendizaje como textos y otros medios de aprendizaje que permitan a profesores y estudiantes avanzar en la construcción y reconstrucción del saber científico.

Agradecimientos

Se agradece a Escuela de Educación Diferencial, Facultad de Educación, Universidad Santo Tomás, La Serena, Chile. Escuela de Educación, Facultad de Humanidades, Universidad de La Serena, La Serena, Chile.

Referencias

- Abrahamson, D., Nathan, M., Williams-Pierce, C., Walkington, C., Ottmar, E., Soto, H., y Alibali, M.W. (2020). The Future of Embodied Design for Mathematics Teaching and Learning. *Frontiers Education*, 5(147). Doi: 10.3389/educ.2020.00147.
- Abrahamson, D., y Sánchez-García, R. (2016). Learning is moving in new ways: The ecological dynamics of mathematics education. *Journal of the Learning Sciences*, 25(2), 203–239.
- Abrahamson, D., y Trninic, D. (2015). Bringing forth mathematical concepts: Signifying sensorimotor enactment in fields of promoted action. *ZDM Mathematics Education*, 47(2), 295–306.
- Agencia de la Calidad (2018). *Resultados PISA y TIMMS*. Recuperado de <https://www.agenciaeducacion.cl/noticias/pisa-2018-chile-lidera-resultados-en-america-latina-en-lectura-pero-sigue-bajo-el-promedio-ocde/>.
- Ashton, J., y Newman, L. (2006). An unfinished symphony: 21st century teacher education using knowledge creating heutagogies. *British Journal of Educational Technology*, 37 (6), 825–840.
- Araya, R. (2016). STEM y Modelamiento matemático. *Revista Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, (15) 291-317.
- Bateson, G. (2015). *Espíritu y Naturaleza*. Buenos Aires: Amorrortu, Editores.

- Bellei, C., y Morewietz, L. (2016). Strong Content, Weak Tools. Twenty-First-Century Competencies in the Chilean Educational Reform. In F. M. Reimers y C. Chung, *Teaching and Learning for the Twenty-First-Century: Educational Goals, Policies, and Curricula from Six Nations* (pp. 93-126). Cambridge, MA: Harvard Education Press.
- Clark, A., y Chalmers, D. (1998). The extended mind. *Analysis*, 58, 7–19.
- Cornejo, C., Silva, D., y Olivares, H. (2011). *Microgénesis de la enseñanza: zoom en el modo en que los profesores presentan contenidos disciplinarios. Investigación realizada en el marco de la Evaluación Docente en Chile. (195-197)*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/310116828_Microgenesis_de_la_ensenanza_Zoom_en_el_modos_que_los_profesores_presentan_contenidos_disciplinarios.
- Dewey, J. (1944). *Democracy and Education*. (Originally published 1916). New York, NY: The Free Press.
- Díaz-Rojas, D., Soto-Andrade, J., y Videla-Reyes, R. (2021). Enactive Metaphorizing in the Mathematical Experience. *Constructivist Foundations*, 16 (3), 265–274. Recuperado de <https://constructivist.info/16/3/265>.
- Frey, C., y Osborne, M. (2013). *The future of employment: how susceptible are jobs to computerization?* University of Oxford.
- Froese, T., y Di Paolo, E. (2011). The enactive approach: Theoretical sketches from cell to society. *Pragmatics & Cognition*, 19 (1), 1-36. Recuperado de <https://doi.org/10.1075/pc.19.1.01fro>.
- Fuchs, T. (2017). *Ecology of the brain*. Handbook University of Oxford.
- Gallagher, S. (2017). *Enactivist Interventions: Rethinking the Mind*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Glenberg, A. M. (2010). Embodiment as a unifying perspective for psychology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1(4), 586-596.
- Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Lifflin.
- Goldstone, R. L., Landy, D. H., y Son, J. Y. (2010). The education of perception. *Topics in Cognitive Science*, 2(2), 265–284.
- Goodwin, C. (2018). *Cooperative action*. New York: Cambridge University Press.
- Hadani, H., y Rood, E. (2018). *The Roots of STEM succes: Changing Early Learning Experiences to Build Lifelong Thinking Skills*. Center for childhood creativity.
- Hutto, D., y Myin, E. (2013). *Radicalizing Enactivism: Basic Minds without Content*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Hutto, D. D., Kirchroff, M. D., y Abrahamson, D. (2015). The enactive roots of STEM: Rethinking educational design in mathematics. In P. Chandler & A. Tricot (Eds.), Human movement, physical and mental health, and learning [Special issue]. *Educational Psychology Review*, 27(3), 371–389.
- Ihde, D., y Malafouris, L. (2019). Homo faber Revisited: Postphenomenology and Material Engagement Theory. *Philos. Technol*, 32, 195–214. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s13347-018-0321-7>.
- Kelley, T. R., y Knowles, J. G. (2016). A Conceptual Framework For Integrated STEM Education. *Inter. J STEM Edu*, 3, 11. Doi:10.1186/s40594-016-0046-z.
- Malafouris, L. (2013). *How things shape the mind: a theory of material engagement*. Cambridge: The MIT PRESS.

- Maturana, H., y Varela, F. (1973). *De Máquinas y Seres Vivos: Una teoría sobre la organización biológica*. Editorial Universitaria, Santiago.
- Maturana, H., y Dávila, X. (2015). *El árbol del vivir*. EditoriaL, MvP Editores. Escuela Matriz-tica, Santiago de Chile.
- Ministerio de Educación (2020). *STEM para la innovación curricular en Chile*. Recuperado de <https://www.curriculumnacional.cl/portal/Innovacion/Lineas-de-Innovacion/STEM-Aprendizaje-Basado-en-Proyecto-ABP/89501:STEM-y-Metodologia-de-Proyecto>.
- Montenegro, M. (2016). *Diseño efectivo de lecciones STEM integradas*. Santiago, Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Nathan, M. J., Srisurcharn, R., Walkington, C., Wolfgram, M., Williams, C., y Alibali, M. (2013). Cohesion as a mechanism of STEM integration. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 77-116.
- Núñez, R. (2017). Is there really an evolved capacity for number? *Trends Cognitive Science*, 21, 409-424.
- Pellegrino, J. W., y Hilton, M. L. (Eds.). (2012). *Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21st century*. Washington, DC: National Academies Press.
- Piaget, J. (1968). *Genetic epistemology* (E. Duckworth, Trans.). Columbia University Press.
- Quintanilla, M. (2012) Investigar y Evaluar Competencias Científicas en el Aula de Secundaria. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 66-74.
- Rietveld, E., y Kiverstein, J. (2014). A rich landscape of affordances. *Ecological Psychology*, 26(4), 325-352.
- Rietveld, E., y Brouwers, A. (2016). Optimal grip on affordances in architectural design practices: An ethnography. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 16, 545-564. Doi:10.1007/s11097-016-9475-x.
- Varela, F., Thompson, E., y Rosch, E. (1991). *The Embodied Mind: Cognitive science and human experience* MIT Press. Cambridge.
- Videla, R. (2019). *Pasos para una ecología cognitiva de la educación*. La Serena: Editorial Universidad de La Serena.
- Videla, R., Aguayo, C., y Veloz, T. (2021). From STEM to STEAM: An Enactive and Ecological Continuum. *Frontiers in Education*, 6, 709560. Doi: 10.3389/feduc.2021.709560.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press (Original work published 1930).
- Weisberg, S., y Newcomber, N. (2017). Embodied cognition and STEM learning: overview of a topical collection in CR:PI. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2. DOI: 10.1186/s41235-017-0071-6.
- Wolfram, C. (2010). The future of computation. *The Mathematical Journal*, 10 (2), 329-362.