

# RIZOMAS, EPISTEMOLOGÍA Y APRENDIZAJE:

## REFORMULACIÓN Y REESTRUCTURACIÓN DE LOS ENTORNOS DE APRENDIZAJE

### *RHIZOMES, EPISTEMOLOGY, AND LEARNING: RE-THINKING AND RE-STRUCTURING LEARNING ENVIRONMENTS*

#### DAVID CAVALLO

Instituto de Estudos Avançados, Universidade do São Paulo Visiting Senior Researcher, Cátedra da Educação Básica, e Investigador principal Centro de Innovación y Diseño Avanzado CINNDA, Chile.

#### ANDRÉS BRICEÑO GUTIÉRREZ

Director centro de convergencia interdisciplinaria Factoría UDP, Universidad Diego Portales y Director I+D Centro de Innovación y Diseño Avanzado CINNDA, Chile.

## RESUMEN

La combinación de una mayor potencia y omnipresencia computacional junto con la creciente alfabetización informática han permitido la expansión sin precedentes del conocimiento en el mundo. Lograr este aprendizaje requiere cambios en los modelos de sistemas concurrentes, complejos, dinámicos y abiertos donde, de manera simbiótica, un mayor conocimiento de computación permitiría un mayor conocimiento y mejores modelos de estos sistemas. Tener la capacidad de innovar, aprender y lograr más no conlleva la comprensión de forma automática, ya que es necesario desarrollar nuevos modelos, estructuras y procesos. El diseño emergente es un marco teórico para el diseño de sistemas dinámicos y complejos que puede aplicarse no solo al diseño de software, sino también a los procesos complementarios, para así superar las limitaciones y errores de estructuras similares a árboles y procesos lineales. Los modelos de la naturaleza, como los rizomas, sirven especialmente como inspiración para obtener mejores resultados en sistemas dinámicos y complejos. Cuando se aplican modelos basados en la fluidez computacional es posible reestructurar los sistemas de educación primarios y terciarios con resultados más equitativos y mejores.

## ABSTRACT

*Increased computational power and ubiquity combined with growing computational literacy have enabled the unprecedented growth of knowledge in the world. To achieve such learning required changes in models of complex, dynamic, open, and concurrent systems, where, symbiotically, broader knowledge of computation enabled broader knowledge and better models of such systems. Having the capacity to innovate, learn, and accomplish more does not automatically lead to realization. New models, structures, and processes need to be developed. Emergent design is a theoretical framework for design of complex, dynamic systems and can be applied not only to design of software but also of surrounding processes to overcome limitations and errors from tree-like structures and linear processes. Models from nature such as rhizomes are particularly inspiring for better outcomes in complex, dynamic systems. Restructuring basic and university educational systems and better, more equitable outcomes can occur when we apply better models informed by computational fluency.*

La creación del diseño emergente surgió como un enfoque integrado y coordinado para diseñar sistemas concurrentes, complejos, dinámicos y abiertos. En un principio, se desarrolló para el diseño de sistemas de software para la informática médica, de modo de

facilitar una mejor comprensión y práctica de la atención. Este diseño emergente empezó a concretarse cuando se hizo evidente que habían principios de diseño similares entre los sistemas de software en desarrollo que podían evolucionar, adaptar y permitir el aprendizaje y el conocimiento a través de un proyecto que ayudara a diseñar e implementar una transformación sistémica del sistema educativo en Tailandia, catalizado por la introducción de usos constructivos, creativos, cooperativos y expresivos de las tecnologías computacionales. Los usos de la computación no solo se limitaban a cambiar de plataforma actividades ya existentes, sino que también a aprender por medio de constructos computacionales.

Se considera que este enfoque puede ser beneficioso en otras áreas que enfatizan el conocimiento y el aprendizaje humano, además de crear entornos dinámicos que permitan el desarrollo (Cavallo, 1999, 2000). El matemático William Thurston, quien revolucionó el área con sus estudios sobre *manifolds*, expresó que el propósito de trabajar con las matemáticas es aumentar la comprensión humana de estas (Thurston, 1994). Es importante manifestar que el propósito de la computación es el mismo y que, al igual que las matemáticas, sirve para incrementar la comprensión humana de estos campos y podemos usarla para entender mejor el mundo.

El diseño emergente se enfoca en situaciones, contextos, sistemas y fenómenos que son, por esencia, impredecibles, idiosincrásicos, llenos de incógnitas e incertidumbres. El diseño emergente se aplica cuando métodos lineales, simples y fijos no solo son incapaces de lidiar con las complejidades, sino que además podrían contribuir potencialmente a consecuencias inesperadas y resultados destructivos. Este tipo de diseño ayudó a inspirar enfoques innovadores al diseño de software para generar sistemas grandes, complejos y en evolución. En particular, el enfoque se centró en aspectos fundamentales como el aprendizaje, el desarrollo y la comprensión humana.

Cuando aparecieron las computadoras programables, su poder de procesamiento era bajo y costoso, tenían una memoria limitada y cara, y sus sistemas operativos eran simples, puesto que, por lo general, ejecutaban un programa después del otro. Por consiguiente, aprender a diseñar y crear un software enfatizaba la necesidad de optimizar la velocidad de procesamiento y el uso mínimo de la memoria.

La mayoría de los primeros métodos de diseño más comunes se basaban en otros que utilizaban tecnologías anteriores. Por lo tanto, prevaleció el uso de diagramas de flujo, estructuras arbóreas y enfoques lineales y jerárquicos. Las empresas insistían en la creación de grandes documentos de texto sobre el diseño, los cuales muchas veces no se leían o entendían, ya que —lo que es más importante— podían ser ambiguos, incompletos y estáticos, ya que se confeccionaban con texto e imagen estática, sin el dinamismo y rigor del lenguaje formal.

Hoy en día, la velocidad de la computación es muchísimo mayor, al punto, que ni siquiera se le considera. Lo que es más trascendental es la comprensión humana, es decir, la capacidad de leer, escribir y entender códigos.

A medida que la potencia informática mejoraba y las personas enfrentaban desafíos más difíciles y complejos, se volvió esencial la creación de diferentes metodologías de diseño e implementación. Con el tiempo, estas cambiaron de sobremanera para aprovechar el uso de las herramientas informáticas para diseñar. El pionero informático Alan Perlis (1981) manifestó que las ciencias de la computación son las “ciencias de los procesos, de todos los procesos” (p. 257), a lo que Alan Kay (s. f.), otro pionero en el área, dijo que también es equivalente a sistemas. Las personas crearon nuevas herramientas para pensar y diseñar procesos, los que por naturaleza poseen dinamismo, conexión, interacción y necesitan de evaluación con el paso del tiempo.

La combinación entre computación y modelos más ágiles y modernos ha permitido un mejor entendimiento de los sistemas más concurrentes, complejos, dinámicos y abiertos, lo que a su vez ha ayudado a formar un círculo virtuoso donde una mayor comprensión de estos fenómenos y sistemas lleva al desarrollo de mejores metodologías y herramientas informáticas, las que a su vez ayudan a profundizar aún más en este conocimiento.

Los softwares han desarrollado métodos más ágiles que son más adecuados para construir sistemas adaptativos. Muchas de las instituciones mantienen una estructura más rígida, obsoleta y menos eficiente, incluso cuando el mundo se transforma y aparecen nuevos modelos. Gran parte de la educación se organiza en estructuras arbóreas, las que están optimizadas para una entrega “eficiente” de información establecida en un orden fijo. Los niños se agrupan por edades. El conocimiento se divide en áreas para luego presentarlo en pequeños fragmentos estandarizados. El día se fracciona en bloques de tiempo. Los estudiantes y profesores se dividen en salas de clases específicas y, por lo general, aisladas.

Se asevera que la creación de falsas dicotomías se debe a la elección de un enfoque uni o bidimensional para temas que son multidimensionales. Esta limitación crea un modelo mental en el cual los problemas son desafíos disyuntivos y binarios. Abordar estas problemáticas de manera adecuada permite un pensamiento más en red y lleno de matices. En este caso, criticar la manera pública de hacer las cosas no es una crítica a la educación pública en sí. Se aboga por la importancia de la educación pública equitativa y de alta calidad para el desarrollo humano, social y democrático. Sin embargo, al igual que con las teorías del diseño, las instituciones de salud, de gobierno y otras no han ido a la par con los avances en conocimiento que el progreso de la computación ha facilitado, al igual que la educación pública. Sin la intención de abordar este problema como algo negativo, se cree que tal como la tecnología computacional proporcionó un crecimiento exponencial del conocimiento, también puede entregar las herramientas para mejorar la calidad de la educación pública y un acceso equitativo a esta calidad. Lo anterior requiere una reformulación y reestructuración profunda.

El aprendizaje humano es complejo, dinámico, idiosincrásico e impredecible, ya que hay múltiples procesos funcionando en simultáneo. Lo que algunos separaron en el pasado, como lo cognitivo y lo afectivo, ahora se puede ver que siempre han estado profundamente entrelazados e influyen uno sobre el otro.

Sin embargo, en su gran mayoría, los sistemas educativos que están en la sociedad continúan siendo desiguales y diferenciados. Esta rigidez estructural se resiste al cambio sustancial.

No obstante, cambiar los modelos y a las instituciones es un proceso concurrente, complejo, dinámico y abierto; no es lineal ni tampoco basta con redactar un plan sólido, sino que además corresponde a un proceso de aprendizaje, es idiosincrásico y va más allá de la lógica. De la misma forma en que el aprendizaje individual (micro) es mejor cuando el estudiante participa de forma activa, el aprendizaje social (macro) también lo es, ya que las personas y los grupos sociales evalúan y analizan, generan hipótesis, intentan crear y reproducir lo nuevo en conjunto, para luego depurarlo y modificarlo.

En educación, las estructuras y procesos estáticos, jerárquicos, aislados y similares a un árbol son impedimentos a la innovación y a las mejoras. Dado que la educación es un sistema que no se puede detener mientras se reforma, es necesario contar con mejores modelos para saber cómo evolucionar. Sabemos que la alfabetización informática es fundamental hoy en día, por lo tanto, se requieren mejores modelos para saber cómo desarrollarla universalmente. Es primordial reformular el cómo (metodología) y el qué (contenido) de la educación, asimismo el con quién enseñar y aprender, para que así todos —y no solo una reducida élite— tenga acceso a trabajar con personas cultas y comprensivas.

Los modelos de la naturaleza han sido una tremenda inspiración, ya que son un ejemplo de cómo adaptarse, evolucionar y cooperar para lograr el bien común. El propósito de todo esto no es solo plantear argumentos filosóficos, sino que dar ejemplares concretos de cómo lograr nuevas prácticas tanto a niveles micro (estudiante) y macro (sistema). Casi por definición, estos nuevos modelos necesitan reconstruirse para realmente hacer avanzar el pensamiento y la práctica humana. No existe la creencia de que es posible entregar un plano terminado, pero sí se pueden facilitar modelos, ejemplares y lenguaje de los cuales apropiarse para así continuar con el desarrollo. En palabras del cibernético Warren McCulloch, “no me muerdas el dedo, mira adonde apunto” (Papert, 1965, p. xxviii).

## RIZOMAS Y MODELOS NATURALES

La humanidad recién comienza a entender y modelar cómo la naturaleza colabora para adaptarse a ambientes dinámicos llenos de complejidades, incógnitas e incertidumbres, y cómo estos entes naturales tienden a adaptarse, cooperar y actuar de formas que benefician a todos. En efecto, cuando se presta atención a lo que se denomina inteligencia en la naturaleza, los resultados de las observaciones muestran cómo diferentes elementos interactúan con el fin de producir valor para todos. Tristemente, muy a menudo no es posible decir lo mismo de los humanos, a pesar del orgullo que la especie tiene sobre su propia inteligencia y que está condenando al planeta.

Se necesitan modelos más complejos y con matices en vez de mantener una visión unidimensional y competitiva, como la supervivencia del más apto, o diseñar y fabricar pesticidas que exterminen a todo ser vivo excepto las plantas genéticamente modificadas para así aumentar la producción de alimentos, pero que no toman en consideración todas las conexiones y las repercusiones a largo plazo.

Thomas Kuhn, respondiendo a los retos que significan definir mejor qué es un paradigma en realidad, dijo que los paradigmas están compuestos de tres elementos fundamentales: ejemplares, modelos y expresiones simbólicas (Kuhn, 1997). Los ejemplares son instancias concretas que muestran la naturaleza del todo. En casos paradigmáticos que no están del todo relacionados con la física, las expresiones simbólicas pueden tomarse como lenguaje, es decir, el lenguaje particular, los significados y la importancia que las expresiones tienen en el contexto del paradigma. El modelo se considera como algo fundamental para el pensamiento y comprensión humana, ya que este describe el funcionamiento y las operaciones esperadas, influencias y resultados que se sustentan en acciones y condiciones.

Un punto importante de los paradigmas es que son estables y arraigados, no cambian de forma repentina o antojadiza. Los paradigmas proveen estructura, significado y valor, además de guiar las ideas y acciones de las personas; las contradicciones y evidencias no los modifican necesariamente. Más bien, las contradicciones tienden a explicarse, al menos hasta que se vuelvan abrumadoras y el paradigma pierda su validez. Reemplazar el paradigma escolar, o lo que David Tyack y Larry Cuban acuñaron como gramática escolar, requiere mostrar las causas del problema, además de entregar nuevos ejemplares y modelos de qué podría mejorarse, con lenguaje explicativo para destacar las diferencias paradigmáticas (Tyack & Cuban, 1995).

Los modelos que los autores proponen para el aprendizaje y para los entornos de aprendizaje, tan científicos como se espera formarlos, no pueden escapar a la historia paradigmática a diferencia de lo que ocurre con las ciencias propiamente tales, como la física. Aunque se han desacreditado más ideas unidimensionales sobre el aprendizaje, tales como los modelos de enseñanza conductistas que ignoran las dinámicas internas del estudiante y los factores socioculturales de la cultura en general, además del entorno de aprendizaje mismo (que se refiere al currículum oculto [Bowles & Gintis, 2011] o se describe en términos de clase social [Anyon, 1981]), aún se mantiene de manera preponderante el enfoque de causa y efecto sencillo que está orientado a un tratamiento simplista. El economista Paul Krugman popularizó el concepto de ideas zombie, es decir, ideas que están muertas, pero que aún rondan por el mundo (Krugman, 2020). El conductismo es peor dado que, aunque las personas digan que no adhieren a esta corriente, todavía es fundamental a las sugerencias y prácticas de incluso expertos en el tema. Se cree que es factible no pensar solamente en el aprendizaje individual a nivel micro, sino que también en el cambio sistémico a nivel macro, donde muchos todavía actúan como si modificar un elemento a la vez, de forma aislada y analizando los resultados, generará los productos deseados.

Emplear modelos naturales, como los rizomas, no solo es inspirador, sino que además son modelos concretos y sólidos de desarrollo positivo en entornos dinámicos y complejos. Gilles Deleuze y Félix Guattari describen a los rizomas en su obra de referencia *Mil mesetas (A Thousand Plateaus)* de la siguiente manera:

Resumamos las principales características de un rizoma: a diferencia de los árboles o de sus raíces, el rizoma conecta un punto cualquiera con otro punto cualquiera, y sus rasgos no están necesariamente unidos a otros rasgos de la misma naturaleza; esto trae consigo regímenes de signos muy diferentes, e incluso estados de no signos. No es posible reducir al rizoma ni a lo Uno ni a lo Múltiple. No es el Uno el que se transforma en dos o incluso directamente en tres, cuatro, cinco, etc. No es un múltiplo derivado del Uno, o al cual se le agrega Uno (n+1). No se compone de unidades, sino que dimensiones, o, mejor dicho, direcciones en movimiento. No tiene un principio o un final, pero siempre un medio (entorno) desde el cual se expande y desborda. Constituye multiplicidades lineales con n dimensiones que no poseen sujeto ni objeto, las que pueden disponerse en un plano de consistencia, del cual siempre se sustrae el Uno (n-1). Cuando una multiplicidad como ésta cambia de dimensión, necesariamente modifica su naturaleza también, experimenta una metamorfosis. A diferencia de una estructura, que se define por un conjunto de puntos y posiciones, el rizoma se compone sólo de líneas; líneas de segmentaridad y estratificación como sus dimensiones, y la línea de fuga o de desterritorialización como la dimensión máxima tras la cual la multiplicidad experimenta una metamorfosis y cambia su naturaleza. No se deben confundir estas líneas, o lineamientos, con linajes del tipo arborescente, los que sólo corresponden a uniones localizables entre puntos y posiciones (...). Al contrario de las artes gráficas, el dibujo o la fotografía, al contrario de los calcos, el rizoma pertenece a un mapa que debe producirse y construirse, ser siempre desmontable, conectable, alterable, modificable, tener múltiples entradas y salidas y con sus propias líneas de fuga

— Deleuze y Guattari, 1987, p. 21.

Los enfoques con base en la evidencia pueden tener fallas cuando se desconocen los aspectos que resultaron ser factores en esencia influyentes y, por lo tanto, no se midieron ni consideraron como datos y evidencia. Por ejemplo, recién ahora se está dimensionando el impacto del bioma humano y la microbiota intestinal en la salud física y mental. Sin embargo, la práctica con base en la evidencia sería imprecisa e incorrecta, dado que hasta hace poco no existían mediciones de ese tipo. Es más, de manera simplista, a todas las bacterias se les consideraban como dañinas y hubo un uso excesivo de antibióticos que destruían lo que ahora se sabe son bacterias beneficiosas y generaban resistencia ante las bacterias dañinas.

Los infantes investigan, exploran e interactúan en un mundo social y complejo bajo una mirada científica para así entender cómo funciona. Este enfoque tiende a desmoronarse cuando no es posible vivir una experiencia directa y es

imperativa la mediación de aprendizajes y conocimientos. De hecho, existen múltiples ejemplos de conductas inteligentes que buscan el bien común de parte de criaturas no neuronales y criaturas con pequeños cerebros, que logran colectivamente tareas de gran inteligencia que benefician a la ecología en su totalidad.

Aquí es donde se requiere tomar ventaja de las potencialidades que la computación trae a esta mediación. La computación posibilita crear entornos de aprendizaje de tipo activos y no solo hablarles a estudiantes pasivos sobre diferentes temas (Perkins, 2010).

Durante el trabajo efectuado en Senegal en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) enseñando a las comunidades rurales a usar tecnologías computacionales de bajo costo para así aumentar la producción de alimentos de forma regenerativa y ecológica, se le mostró a un experto en aguas que también colaboraba con la FAO el enfoque de aprendizaje activo por medio de construcción en el mundo real facilitado por computadora. El experto dijo que el enfoque le recordaba a las ecologías de bordes, las que afirmó son los espacios más creativos en la tierra. En sus palabras, las ecologías de bordes ocurren en el punto donde un sistema ecológico (como una cadena montañosa o un bosque) se encuentra con otro sistema diferente (como las planicies o el mar). Estas ecologías de borde ayudan a producir y nutrir nuevas formas de vida por medio de sus interacciones. A pesar de la concientización existente sobre los intentos de generar monocultivos para incrementar la producción a corto plazo y también controlar el entorno y volverlo predecible, estas acciones tienden a ser delicadas y destructivas en el largo plazo; se puede suponer que los intentos por generar monocultivos con fines educativos son para volverlos más controlables y predecibles, pero al mismo tiempo se es testigo de los límites que este enfoque presenta. Ahora, es factible generar entornos de aprendizaje más humanos y mejores, con nuevas formas de pensar que no buscan controlar lo incontrolable.

#### A CIDADE QUE A GENTE QUER: UNA EXPERIENCIA CONCRETA DE REESTRUCTURACIÓN DE ENTORNOS DE APRENDIZAJE

Se pensó en la creación de una nueva iniciativa llamada *A Cidade a Gente Quer (La ciudad que queremos)* como una forma de introducir nuevas metodologías de aprendizaje y usos constructivos de la computación, además de avanzar en el desarrollo docente y el cambio sistémico. Aquí, los estudiantes discutirían lo que les gusta, lo que quisieran mejorar y lo que anhelan

para sus comunidades, para luego diseñar y construir modelos funcionales y así mostrar sus ideas (Cavallo, Blikstein, et al., 2004).

Más allá de la motivación y el compromiso, que son más que fundamentales para que haya impacto, el objetivo era diseñar entornos de aprendizaje donde los participantes interactúen activamente al pensar en tópicos de gran alcance y, asimismo, se encarguen de concebir y formar algo concreto y funcional que ejemplifique sus ideas y creencias. Los entornos que se desarrollan están dentro de lo que se denomina *mindful making* (Cavallo, 2023); es decir, se genera un entorno de aprendizaje creativo, cooperativo y

reflexivo, donde los estudiantes no siguen instrucciones sin cuestionamientos al momento de trabajar.

La experiencia recopilada en Manaus, la capital del estado de Amazonas en Brasil, destaca muchos asuntos importantes sobre los fundamentos, reestructuración, aprendizaje profundo, eficacia colectiva, contenido, metodología, computación y democracia en la educación. El lanzamiento de *A Cidade a Gente Quer* contó con el apoyo de la Secretaría de Educación de la municipalidad de São Paulo y de la Fundación Bradesco.

Los objetivos principales de la iniciativa eran:

- \* Proporcionar experiencias de aprendizaje del desarrollo sólidas y poderosas a estudiantes que, por lo general, no tenían acceso a ellas.
- \* Ocupar, al mismo tiempo, la experiencia para aportar una base concreta a los docentes y así desarrollar su experticia por medio del uso de tecnologías computacionales que apoyen entornos de aprendizaje más abiertos y constructivos.
- \* Permitir experiencias de aprendizaje concreto más profundas, conectadas y activas en áreas como las matemáticas, ciencias y computación, así como también entender cómo llevar este conocimiento más abstracto a la práctica concreta en proyectos significativos.
- \* Conectar a la comunidad y agencias de cambio para fomentar la eficacia colectiva.
- \* Entregar recursos pragmáticos para profundizar cambios fundamentales en el sistema por medio de experiencias concretas para los estudiantes, docentes, administrativos y padres que muestren cómo el aprendizaje puede ser diferente a través de la reflexión de ideas y experiencias de forma colectiva.
- \* Conseguir todo lo anterior de manera holística, concreta y pragmática en un entorno de aprendizaje reestructurado, que conecte naturalmente ideas, opiniones y conocimientos a través de las diferentes áreas conforme a la necesidad de aplicar estos saberes para cumplir los objetivos del proyecto.
- \* Empoderar a las escuelas, directores y docentes para que determinen por sí mismos cómo implementarán el proyecto conforme a sus propios objetivos.

Aunque había una gran cantidad de proyectos creativos, profundos e inspiradores de estudiantes entre los 7 y los 14 años, para los fines de este artículo, el foco se centrará en uno de Manaus. Un grupo de estudiantes determinó que una forma extremadamente importante de mejorar la vida en Manaus era limpiar los ríos. Ellos explicaron que la base de sus vidas dependía del río, pero que la creciente contaminación ponía en riesgo a la comunidad.

Propusieron desarrollar un conjunto de redes automatizadas para que limpiaran los residuos en el río y así mantener un ecosistema saludable. Los estudiantes iniciaron la creación de un modelo que solo limpiaba los residuos en la superficie del río.

Cuando se les consultó si todos los contaminantes se encontraban en la superficie, ellos respondieron “¡Por supuesto que no!”. El primer elemento interesante de su proyecto fue que ellos tenían muy claro que su idea inicial no estaba completa, sin embargo, continuaron con su diseño. Sus ideas y esquemas solo cambiaron después de las preguntas que recibieron. En este y en los otros proyectos formulados por sus pares, se trataba de generar un entorno de pensamiento crítico, pensamiento sistémico, investigación por medio de preguntas y práctica reflexiva. Es más, el objetivo que se busca al establecer este tipo de pensamiento y prácticas como la norma en el entorno, es que este se vuelva un hábito mental.

Se quiere enfatizar en este punto dado que el proceso para determinar y profundizar de manera progresiva estos proyectos nace de las ideas, intereses y preocupaciones de los mismos estudiantes, primero a través de la discusión y luego del diseño y confección de sus ideas en la realidad. Las contradicciones, piezas faltantes y falsos supuestos aparecían cuando construían e intentaban hacer que sus conceptos fuesen funcionales. Las contradicciones emergentes los obligaban a reformular y reevaluar. Los retrocesos del mundo real son persuasivos en formas que las palabras muchas veces no lo son. Esto proporciona métodos más completos, integrados y holísticos para modificar sus pensamientos a medida que sus modelos fallan, ya sea por ideas equivocadas o por no plasmar adecuadamente en ellos lo que pensaban. Las contradicciones son fundamentales para sacudir el esquema significativamente.

Se gestó una cultura donde los errores no son elementos de los cuales deben avergonzarse, sino que son esenciales para aprender cualquier cosa medianamente compleja, dado que es así como funcionan la ciencia, la investigación, la ingeniería y la escritura. Es cierto que esconder los errores o no intentarlo para así no equivocarse impide el aprendizaje. Aprender a depurar y corregir de forma adecuada es una habilidad intelectual primordial (Klahr & McCoy Carver, 1988; Papert, 1980).

Los estudiantes decidieron inyectar pulsos de aire al lecho del río para así mover los objetos que estuviesen en el fondo y luego poder capturarlos con sus redes. Esta idea generó bastantes problemáticas nuevas. ¿Este nuevo método perturbaría la parte sana del ecosistema del lecho? ¿Sería efectivo en mover los desechos más pesados que están en el río? Una vez que los objetos estén en movimiento, ¿cómo sería posible diferenciar los residuos de los peces?

Los estudiantes tenían bombas que funcionaban con motores pequeños y conductores hechos de tubos por donde pasaba el aire. Por desgracia, estas bombas ejercían un poder mínimo, por lo que su efecto era insignificante. Cuando se les consultó a los estudiantes qué falló, la respuesta que se esperaba que ellos dijeran era que la fuerza de la bomba era insuficiente. En efecto, pensar en la hidráulica no es algo que se considere todo el tiempo, aunque

es importante. Sin embargo, podría valorarse como un aspecto fundamental, ya que es esencial para el funcionamiento de muchos objetos comunes.

Sin embargo, esa no fue la respuesta que entregaron. Más bien, dijeron que el problema era que el aire “quería escapar del agua, ya que el aire es diferente al agua y quiere salir de ahí”. Los estudiantes explicaron que, en vez de empujar los objetos en el agua, el aire subió a la superficie tan rápido como pudo para estar con el aire y no con el agua.

¡Fue impresionante! Sin saber de pensamiento griego antiguo, los estudiantes recurrieron a Aristóteles y las esencias. Se les había enseñado, e incluso aprobaron exámenes en el tema, que el mundo no funcionaba con las esencias y la física aristotélica. Este no era tema de pensamiento ingenuo de principiante que necesitara de más experticia. Los estudiantes aprendieron lo que era correcto, pero el conocimiento no permaneció en el tiempo. Para hacer que su proyecto funcionara, trajeron su esquema y sus creencias profundamente arraigadas sobre cómo funcionan las cosas para abordar el problema en cuestión.

Este fenómeno no es extraño, ya que, en realidad, lo que las personas hacen cuando tratan de cumplir una meta en el mundo real muchas veces no tiene relación con los contenidos que aprendieron en la escuela. La explicación de Jean Lave y Etienne Wenger para lo que denominaron matemáticas “de la cocina” y “del mercado” es que las personas ajustan las cantidades para cocinar o determinar precios cuando van de compras (Lave & Wenger, 1991). En *0 en la escuela: 10 en las calles*, Terezinha Nunes et al. describieron cómo los niños en Recife calculaban de forma exitosa los precios de los caramelos cuando los vendían en la calle, pero que en la escuela no podían resolver los mismos cálculos en ecuaciones escritas (Nunes et al., 1993).

En términos educativos, a este fenómeno de “0 en la escuela: 10 en la calle” a menudo se le denomina *problema de transferencia*. Sin embargo, muchas veces se piensa que la transferencia es algo que ocurre, no algo que las personas hacen. Cuando Paulo Freire (1972) condenó el enfoque bancario en la educación, se refería a esas instancias en las cuales a los estudiantes se les decía que guardaran lo que aprendían porque les serviría más adelante. Sin embargo, como Freire notó, este enfoque por lo general no funciona, ya que no incentiva lo suficiente a los estudiantes a pensar en profundidad y aprender los contenidos, lo que da como resultado que las ideas no permanezcan en la mente sobre todo cuando las ideas y el razonamiento no están conectados ni son aplicados a la realidad. Ellos no pensaron en emplear este conocimiento incluso cuando querían tener éxito. Las matemáticas escolares no pasaron por sus cabezas.

No es que las matemáticas subyacentes que se presentan a los estudiantes sean incorrectas o inadecuadas para estas situaciones. Más bien, debido a que el entorno típico se enfoca en hablarles de las ideas desde lo abstracto, los contenidos no se asimilan bien y es más difícil que se les ocurra aplicarlos cuando sea necesario.

Ese tipo de enfoque conectado ayuda a entender mejor el problema de las falsas y, aparentemente, irresolubles dicotomías presentes en muchos discursos educativos que surgen del enfoque bancario y lineal. Los reformistas de la educación tienen la esperanza de mejorar el razonamiento, la alfabetización funcional y el conocimiento matemático. Los críticos a estas reformas argumentan que, sin los conocimientos y destrezas básicas, una persona no puede razonar de forma adecuada.

En la infancia, el desafío es entender el mundo y sus complejidades, sin acceso al lenguaje, a los textos u otro tipo de mediación. Alison Gopnik ha documentado el talento, el razonamiento y la metodología científica de los infantes a medida que aprenden a entender y actuar en el mundo (Gopnik et al., 2000). Gopnik et al. explican que, en vez de pensar en los bebés como pequeños científicos, es mejor ver a los científicos como bebés mayores, ya que el espíritu explorador de los infantes los lleva a entender el universo y la sociedad, dándoles a los científicos el impulso para investigar (quienes, además, tienen mejores herramientas para trabajar).

En particular, se observa una muy frecuente pérdida del espíritu de aprendizaje científico en los niños pequeños, al igual que las crecientes brechas de logros, debido a la transición de los currículos escolares desde lo que cada uno puede experimentar directamente sin necesitar mediación. El lenguaje y los textos han sido las principales formas de mediación y su importancia es indudable. Sin embargo, como lo explica David Olson en *The World on Paper* y *The Mind on Paper*, las características del medio donde las personas se expresan, representan, comunican y crean tiene un fuerte impacto en cómo los individuos piensan y ven el mundo (Olson, 1994, 2016).

Las dicotomías falsas surgen por la reducción de problemas complejos a una dimensión, una exclusión binaria, donde es una cosa o la otra, no ambas. En efecto, la dicotomía es una representación unidimensional y binaria que tiene lados opuestos, y es la suma cero de tal manera que la ganancia de un extremo demanda la pérdida del otro. Mientras existan, como una luz que puede encenderse y apagarse, la vida es más fluida, multidimensional, compleja e interconectada la mayor parte del tiempo. Es en estas áreas de sistemas y redes conectadas y complejas donde el mundo moderno enfrenta sus retos.

Los humanos crean esquemas y modelos de situaciones como una forma de dar significado, orientación y un curso de acción razonable; asimismo, desarrollan recursos para el razonamiento científico dentro de estos esquemas y modelos. Ahora hay un cambio en los entornos educativos formales, en vez de mantener la idea de construir sobre esta fundación sólida de cómo todos los infantes y niños pequeños descubren el mundo científica y socialmente, se estudia cómo interactuar y conectar en él.

Mucho de lo que se enseñaba en los primeros años de escuela se basaba en qué se podía hacer con la tecnología de la época, es decir, papel, lápiz y libros, en vez de asentarse en lo que es fundacional, esencial y más favorable para el desarrollo. La unión de la fluidez con varios medios, como los textos, las imágenes y la computación, incrementan de forma radical lo que uno puede

pensar, imaginar, expresar, representar, hacer, entender y saber. Así como la computación permitió mayores cambios y que los científicos actuaran como niños grandes e hicieran, aprendieran y conocieran más, para que así el conocimiento del mundo aumentara exponencialmente, dio paso a que también estuviese a disposición de niños de todas las edades.

La reformulación, reencuadre y reestructuración son posibles y más necesarias que nunca, dadas las crisis que la humanidad enfrenta no solo en materias de medioambiente, equidad, justicia, hambre y violencia, sino que también en lo que ahora es posible de alcanzar a medida que la humanidad aprende más a fondo y con exactitud del mundo y sus complejidades. Para la reformulación, se observan cuatro áreas de suma importancia:

1. Campos de conocimiento, en particular las matemáticas y la computación.
2. Sistemas, en especial investigaciones previas sobre sistemas concurrentes, complejos, dinámicos y abiertos.
3. Metodologías de aprendizaje ampliadas por enfoques computacionales para un aprendizaje activo, significativo, conectado, aplicado, basado en intereses e investigación.
4. Entornos de aprendizaje que promuevan mejor la eficacia colectiva, compasión, empatía, conectividad, cooperación, colaboración, comunicación, creatividad, resolución de problemas y pensamiento crítico.

## QUÉ ES FUNDAMENTAL EN LAS MATEMÁTICAS HOY

Seymour Papert fue uno de los primeros en hablar de cómo la computación podía cambiar potencialmente no solo cómo se aprende, sino también qué se aprende

(Papert, 1980). En vez de cambiar de plataformas las actividades educativas ya existentes en las computadoras a un sistema de Instrucción Asistida por Computadora (CAI), o usar los equipos como correctores o explicadores indiferentes sin dejar que los estudiantes de verdad los ocupen para hacer otras cosas, Papert se fijó en el potencial de los niños practicando matemáticas con la ayuda de una computadora o, en sus palabras, “que el niño programe la computadora, no que la computadora programe al niño” (Papert, 1981). Luego, Papert y sus colegas demostraron cómo los niños podían acceder a conocimientos matemáticos y de otras áreas más profundos a través de la construcción activa de proyectos significativos por medio de la programación, en micromundos, a través de la depuración y transformación de conceptos previos más abstractos en conceptos más concretos, útiles y sociales (Papert, 1980, 1981; Turkle & Papert, 1990).

La primera experiencia de Papert usando computadoras fue cuando Marvin Minsky lo invitó a MIT, a inicios de la década de los sesenta. En un día, Papert resolvió dos problemas matemáticos en los cuales había estado trabajando por más de un año, todo gracias al uso de computadoras. Es claro, la diferencia no yacía en que, al poner un pie en el campus de MIT, él se volviera más inteligente, sino que él tenía acceso a herramientas informáticas que lo ayudaron a pensar y resolver problemas particulares. Estas le permitieron aprender y

saber más que otras tecnologías anteriores no tuvieron el mismo resultado. Los problemas particulares eran compatibles con los enfoques computacionales, y ahí está el punto. Las ideas que parecen inabordables pueden tener solución cuando nueva computación da paso a nuevos razonamientos. Esta revelación surgió con computadoras que tenían baja potencia y memoria; sin embargo, tenían la capacidad suficiente para que Papert entendiera cómo los enfoques computacionales podían dar paso a una comprensión nueva y más profunda, además de proveer alternativas y, a menudo, formas poderosas de entender y aplicar ideas poderosas, y que el desarrollo no estaba fijado en la maduración cerebral.

Jean Piaget estudió cómo los niños construyen el conocimiento matemático (Piaget, 1997), a través de la observación minuciosa de ellos, incluso niños de corta edad. Piaget no se interesaba en cómo estos aprendían matemáticas escolares, sino cómo ellos desarrollaban las estructuras madres de las matemáticas. Por lo tanto, él colaboró con matemáticos que entendían a fondo del tema y sabían cuáles eran los aspectos fundamentales de esta; Papert era uno de esos matemáticos.

Gracias a Piaget, Papert entendió cómo niños, incluso muy pequeños, formaban sus propias teorías, construían conocimiento a través de sus experiencias individuales y sociales, como también desarrollaban nuevos conocimientos sobre sus concepciones previas. Él aprendió y ayudó a desarrollar ideas sobre cómo los niños forman su comprensión matemática, en especial, qué ocurre cuando unen diferentes conceptos, como la cardinalidad y ordinalidad. Entendió cómo no modifican automáticamente sus pensamientos y esquemas con solo darles un poco de información, sino que asimilan, acomodan o incluso rechazan esta información nueva porque no encaja con su concepción previa. Estas ideas solo cambian cuando las contradicciones complejas se vuelven imposibles de tolerar. Al combinar esta valoración de las capacidades y poderes de los niños con la comprensión de su nuevo descubrimiento del potencial poder de la computación, el trabajo de Papert se centró en desarrollar ideas mejores y más concretas del aprendizaje humano a través de la creación de entornos de aprendizaje superiores que sean más favorables para el estudiante, además de reformular el aprendizaje, los entornos donde este transcurre y actividades de aprendizaje valiosas. A Papert lo motivaban las favorables posibilidades que ofrecían las actividades computacionales constructivas, activas, expresivas y sociales, las que además llevaban a no solo continuar con la generación de nuevos ambientes, actividades e ideas para aprender, sino que al mismo tiempo todos los niños, en cualquier parte, tuviesen acceso equitativo.

El rol de Papert es esencial para ampliar la visión hacia lo que los niños pueden hacer y pensar cuando se usan enfoques computacionales en los entornos de aprendizaje favorables. Papert mantuvo su foco en los aspectos esenciales y profundos de las matemáticas, cuestionándose qué y cómo enseñar de acuerdo con lo que era posible con lápiz y papel en lugar de lo que eran aspectos fundacionales y del desarrollo en matemáticas. Papert escribió que “en vez intentar enseñar matemáticas que odien, hay que transformar a las

matemáticas en algo que amen” (Papert, 2006). Además, reflexionó acerca de cómo las personas suelen pensar que no tienen la cabeza para ciertas áreas, como matemáticas o lenguas extranjeras, ya que no las aprendieron bien o no las amaron durante su paso por la escuela. Papert demostró que el problema no está en la cabeza, sino que en el entorno. Así como cualquier persona en Francia aprende francés, de igual manera cualquier persona puede aprender lo que antes pensó estaba fuera de su alcance si está en el entorno y la cultura adecuados, con los incentivos correctos para conectar, hacer, comunicar y pensar. Así como Francia es un lugar ideal para aprender francés, Papert propuso una Matelandia para aprender y practicar matemáticas.

Gracias al enfoque computacional en proyectos de interés en entornos favorables, los conceptos que tradicionalmente han sido difíciles de entender se vuelven más accesibles. Las variables son un concepto de gran importancia; todas las personas han tenido experiencias con las variables en sus vidas, dado que todos tienen un nombre, cumpleaños, padres, direcciones y demás, por lo que los niños suelen entender cuando se les explica de esta forma. Sin embargo, es común ver que, en espacios educativos, un gran número de estudiantes tiene problemas con el concepto incluso cuando le es familiar en su vida (aunque no se plantee de forma explícita como matemáticas).

Cuando los niños inventan juegos y necesitan mantener un registro de los jugadores, puntajes y otras acciones complejas dentro del juego, la idea de las variables deja de ser un mero elemento y se vuelve un componente importante y necesario. Incluso se entienden aspectos más complejos de las variables, como su alcance, cuando están en contexto. Cuando el entorno de aprendizaje y sus participantes ponen bastante atención a las ideas, los estudiantes las captan. La confusión se hace muy presente en las salas de clases donde se emplea un enfoque bancario desconectado. Al nombrar variables por mnemotecnia de acuerdo con su significado, los estudiantes que saben más de lenguaje suelen entenderlo. La velocidad, dirección, tamaño, color, nombre, o lo que sea, tienen sentido cuando hay un contexto y un uso. Es comprensible que algunas varíen y otras sean constantes, que el alcance de la variable sea dependiente (es decir, su nombre depende de quién es usted en un contexto/alcance determinado) en el contexto de uso significativo, cuando el estudiante necesite saber, pero es mucho menos prominente en lo abstracto, momento en el cual surgen las confusiones.

Los estudiantes han gestado proyectos de creación en los que usan computadoras en las artes (Basu & Cavallo, 2003; Cavallo, Blikstein et al., 2004), comunidad (Cavallo, 2000; Cavallo, Sipitakiat, et al., 2004), medioambiente, ingeniería, teoría del control y equilibrio (Sipitakiat & Cavallo, 2008) y más. La computación tiene el potencial de ayudarlos a efectuar proyectos complejos en áreas de interés, bajo el aprendizaje activo de Dewey de hacer cosas (1966), lo que es más cercano a su forma de aprendizaje natural de lo complejo en la infancia, pero que ahora se extiende a la mediación computacional a áreas en las que el acceso a lo concreto es limitado.

Sorprendentemente, es importante tener en cuenta que la mediación computacional se diferencia de otros medios en los que no solo se usa la computación

para presentar textos e imágenes, sino que se emplea en la creación, colaboración y concretización de ideas. El trabajo de Uri Wilensky y estudiantes en NetLogo en el modelamiento basado en agentes y el uso de un gran número de agentes computacionales para modelar fenómenos complejos (Wilensky y Papert, 2010), o el trabajo de Mitchel Resnick con enfoques masivamente paralelos para investigar fenómenos complejos de manera creativa y así exponer y desacreditar lo que Resnick denominó como “mentalidad centralizada”, demuestran aún más lo que los niños pueden hacer con mejores herramientas y entornos favorables (Resnick, 1997).

Los estudiantes expresan sus pensamientos de forma concreta y formal de maneras en las que se puedan compartir, modificar y depurar —como los textos—, pero con la posibilidad de expresar ideas sobre fenómenos procedimentales complejos y dinámicos que van más allá del texto y el lenguaje. Pero, la computación no disminuye el valor del lenguaje, textos e imágenes, ya que los incorpora para aumentar el valor de pensamientos y enfoques multilingües diversos. Los estudiantes se benefician al tener un conocimiento matemático y científico más profundo, al darles tiempo, ánimo y apoyo crítico para elaborar a fondo sus ideas, aunque también lo hacen al desarrollar la conciencia y capacidad de saber cómo ir más lejos y, en particular, obtener conocimientos y ganar en autoconfianza como personas capaces de ir más allá, entender lo complejo y resolver problemas difíciles. Las diferencias entre este tipo de entornos y las experiencias de aprendizaje poderosos y, lamentablemente, los entornos típicos ya conocidos que dan como resultados estudiantes que recaen en esencias aristotélicas o enfoques simplistas a problemas complejos, demandan una reformulación y reestructuración de los entornos de aprendizaje para así evitar las consecuencias existenciales y dañinas de los entornos actuales.

El trabajo en el entendimiento de la complejidad aumentó de manera sustancial con la llegada de la computación. La etología investigó cómo las criaturas lidiaban con retos sofisticados, como la migración de las aves, la navegación indígena, entre otras, donde el éxito de estas tareas complejas desafiaba las explicaciones convencionales y más bien unidimensionales (Lorenz, 1970; Tinbergen & Tinbergen, 1990; Von Frisch, 2013). El emergente campo de la complejidad usó a la computación para generar modelos de cómo incluso organismos sencillos que siguen reglas simples pueden lograr tareas complejas de maneras que muestran una inteligencia profunda sin una visión global. Ejemplos de lo anterior incluyen abejas que construyen su colmena o usan su lenguaje de danza para comunicarse, termitas que arman sus montículos de forma tal que eliminan el calor, castores que fabrican una presa que beneficia a ecosistemas enteros, micelios que sostienen bosques y plantas al mismo tiempo que obtienen apoyo de ellos, hormigas que colaboran para encontrar alimento y se comunican entre ellas para recolectarlo y almacenarlo de manera eficiente.

Muchos ahora piden reformular el qué y cómo de la enseñanza de las matemáticas de acuerdo con cómo ha cambiado el mundo y qué es posible hoy en día. El matemático Keith Devlin explicó que todas las matemáticas

que él necesitaba saber a la perfección para obtener su doctorado ya están obsoletas (Devlin, 2017). Él incentiva con fuerza un cambio en el foco de la educación matemática hacia el pensamiento necesario para emplearlas y razonarlas, en lugar de seguir con los cálculos y otras tareas obsoletas que dominan las matemáticas en la escuela a nivel primario y secundario. Devlin también defiende la idea de permitirle a los estudiantes usar un sinnúmero de herramientas disponibles que todos los matemáticos profesionales ocupan para hacer matemáticas mejor. Como un ejemplo brillante de su enfoque, él entrega muchas marcas de fecha y lugar que se usan en la logística moderna de distribución de encomiendas, y les pide a los estudiantes que utilicen cualquier recurso para realizar ingeniería inversa al algoritmo de la compañía.

En su libro *The Maths Fix*, el matemático Conrad Wolfram también aboga por la necesidad urgente de transformar la enseñanza de las matemáticas (Wolfram, 2020). Dice que “en las matemáticas del mundo real, las computadoras hacen casi todo el cálculo; en las matemáticas de la escuela, por el contrario, casi todos los cálculos los efectúan los estudiantes (p. 4)”. Wolfram, al igual que Papert, propone ayudarles a desarrollar un pensamiento matemático que sea tan importante y hermoso, y dejarle a las máquinas el trabajo mecánico y mundano. Sin embargo, la educación revierte estos roles la mayor parte del tiempo.

Wolfram propone un marco de trabajo donde los estudiantes sean capaces de Definir, Abstraer, Computar e Interpretar. Pero, él se da cuenta que la mayor parte de la educación matemática se focaliza en los estudiantes aplicando el paso 3, Computar, y no en las otras actividades que son mucho más valiosas.

Al comienzo de la educación matemática, la mayoría de los estudiantes alcanzan niveles relativamente similares, cuando las operaciones son concretas, familiares y basadas en experiencias del mundo real. Por lo general, es a partir del tercer año de escuela cuando emergen las brechas de logros en múltiples dimensiones (por ejemplo, género, etnia, clase social), ya que el trabajo se vuelve más abstracto, desconectado de la experiencia y basado en textos; es decir, a medida que se pasa de lo concreto a lo mediado y abstracto.

El punto que se busca recalcar es que los estudiantes pueden usar las matemáticas para entender y resolver problemas de interés gracias a la mediación que proporcionan los enfoques computacionales, de igual manera que los adultos han aprendido y logrado tanto. Además, trabajar en este tipo de oportunidades en entornos de andamiaje es más que fundamental para la comprensión de las matemáticas modernas que las actividades del pasado.

La educación matemática actual evita lidiar con complejidades, debido al uso de matemáticas subyacentes que requieren el desarrollo de muchas técnicas mecánicas. Este desarrollo tardó un poco; sin embargo, hay que recordar que en ese entonces solo se tenía acceso a papel y lápiz. Esto es diferente, ya que el objetivo es generar recursos que permitan que todos puedan comprender mejor. De esta manera, se podrán desarrollar ideas y modelos más exactos sobre problemas complejos, como el cambio climático, la regeneración medioambiental, la producción alimentaria, la nutrición, la

salud pública, entre muchos otros, además de entender estos modelos con la suficiente profundidad para así cambiar las conductas y gobernanzas que lleven a la creación de un mundo más justo, equitativo, pacífico, armónico y con un medioambiente sano.

### EL DESARROLLO DE LA FLUIDEZ COMPUTACIONAL COMO UN CATALIZADOR PARA APRENDER Y MEJORAR LA PRÁCTICA

Entrar en detalle y profundidad suficiente con respecto al desarrollo de la fluidez computacional está más allá de los alcances de este artículo. De la misma forma en que se considera esencial aprender pensamiento matemático, también es importante aprender computación. Sin embargo, a pesar de su relevancia, con

mucha frecuencia se enseña de manera deficiente, con bajos resultados y con estudiantes que llegan a pensar que no tienen la cabeza para ello, o que tal vez no son lo suficientemente inteligentes, al igual que lo que ocurre con las matemáticas.

Papert describió este problema hace más de 40 años, así como también la necesidad de generar culturas adecuadas para el aprendizaje y hacer matemáticas mientras pensaba en las acciones que uno realiza y cómo la computadora es un excelente medio para lograrlo. Él describió que, al igual que con las matemáticas, algunas personas tienden a pensar que no tienen las habilidades para aprender lenguas extranjeras, pero en general la aprenden al situarlas dentro de la cultura y generarles la necesidad de usar el lenguaje. Él abogó por la creación de una Matelandia que fuese un lugar de aprendizaje y práctica de las matemáticas, al igual que una persona puede aprender un mejor francés en Francia.

Como se describió en el proyecto *Cidade a Gente Quer*, los estudiantes aprendieron a programar en el contexto de sus propios proyectos. Ellos observaron y ayudaron a criticar los proyectos de compañeros, lo que los expuso a otras ideas, usos y contextos. Si intentaban apropiarse más de estas nuevas ideas y usos para así aplicarlos en sus propios proyectos, podían entonces aprender los conceptos con mayor profundidad. Es decir, están aplicando de forma activa y no solo escuchando ideas y por qué son importantes bajo una perspectiva bancaria.

Se vuelve a enfatizar el rol de la cultura y el entorno como elementos más o menos favorables para un aprendizaje activo y participativo; asimismo, se recalca la importancia de intentar aplicar las ideas, no solo hablar de ellas. La computación es un elemento particularmente favorable para este tipo de aprendizaje activo, ya que es expresivo y entrega retroalimentación de variadas formas. Una persona debería usar la computación para concebir y expresar ideas sobre las cosas, para aprender mejor, en mayor profundidad y en contexto. Cuando alguien usa sus expresiones formales, puede ver por sí mismo si piensa en funciones. La computación puede ayudar a entender no solo de computación, sino que también matemáticas, ciencias e incluso humanidades; dadas estas innumerables posibilidades, la alfabetización informática no debería ser solo para los fanáticos de la computación. Por desgracia, cuando se presentan la computación, las matemáticas o incluso las ciencias, no se establece la conexión entre las actividades y las preocupaciones reales de los

niños. Más estudiantes sintieron una conexión con sus intereses y vieron el valor del desarrollo de la alfabetización informática cuando se modeló la vida en comunidad a través de la computación, en la que todos se interesaban, o exploraron y crearon arte, danza, música y video.

## REESTRUCTURACIÓN DE ENTORNOS DE APRENDIZAJE FUNDACIONALES Y ESENCIALES EN CUANTO AL DINAMISMO, DESARROLLO Y LA EPISTEMOLOGÍA

En este artículo se investigó qué es fundamental en las matemáticas, pero solo se dio una mirada superficial. Lo que es más importante, se plantea la necesidad de volver a examinar la pregunta en su totalidad, no solo para tratar de efectuar unos pequeños cambios o intentar mejorar algunas partes en un marco de trabajo ya existente, sino que ir lo más al fondo posible para efectuar cambios reales y no tomarlos como elementos axiomáticos que son un mero accidente histórico.

El propósito más amplio de esta investigación es poder formular las mismas preguntas no solo en matemáticas, también en otras áreas del conocimiento y pensamiento, en particular sobre la estructura y función de la educación en sí. Como se plasmó con anterioridad, existe un reconocimiento y creencia profundos de la importancia de la educación pública inclusiva, equitativa y de alta calidad para todos, y que no solo sirva para dar paso a democracias justas, sino que además ayude a asegurar la salud medioambiental y la supervivencia de la especie humana y del planeta.

Por consiguiente, está la esperanza de reestructurar las matemáticas y el aprendizaje computacional, así como también el entorno de aprendizaje mismo, para que los individuos puedan desarrollar la alfabetización matemática, textual, científica y computacional en contexto y sean capaces de aplicarlas en el mundo real. Está el deseo de usar modelos a partir de la naturaleza que permitan desarrollar mejores modelos para las actividades y aprendizaje humano. Existe la convicción de ser capaces de cambiar los sistemas de aprendizaje, desarrollo y actividades que impidan las crisis existenciales, desiguales e injustas que la humanidad enfrenta y así crear un mejor futuro para todos.

## REFERENCIAS

- A** Anyon, J. (1981). Elementary Schooling and Distinctions of Social Class. *Inter-change*, 12, 18-32. <https://doi.org/10.1007/BF01192111>
- B** Basu, A., & Cavallo, D. (2003). Full-Contact Poetry. En B. Wasson, S. Ludvigsen y U. Hoppe (Eds.), *Designing for Change in Networked Learning Environments. Computer-Supported Collaborative Learning* (Vol. 2) (pp. 281-225). Springer.
- Bowles, S., & Gintis, H. (2011). *Schooling in Capitalist America: Educational Reform and the Contradictions of Economic Life*. Haymarket Books.
- C** Cavallo, D. (1999). Project Lighthouse in Thailand: Guiding Pathways to Powerful Learning. En D. Kritt, & L. Winegar (Eds.), *Logo Philosophy and Implementation* (pp. 129-164). Logo Computer Systems Inc.
- Cavallo, D. (octubre 2000), Emergent Design and Learning Environments: Building on indigenous knowledge. *IBM Systems Journal*, 39(3 y 4), 768-781.
- Cavallo, D., Blikstein, P., Sipitakiat, A., Basu, A., Camargo, A., Lopes, R., & Cavallo, A. (septiembre de 2004). *The City that We Want: Generative Themes, Constructionist Technologies, and School/Social Change* [Session de conferencia]. International Workshop on Technology for Education for Developing Countries, Joensuu, Finlandia.
- Cavallo, D., Sipitakiat, A., Basu, A., Bryant, S., Welli-Santos, L., Maloney, J., Chen, S., Asmussen, E., Solomon, C., & Ackermann, E. (2004). *RoBallet: Exploring Learning through Expression in the Arts through Constructing in a Technologically Immersive Environment* [Sesión de conferencia]. International Conference on the Learning Sciences, Los Ángeles, CA.
- Cavallo, D. (2023, en prensa). *Mindful Making Manifesto*.
- D** Deleuze, G., & Guattari, F. (1987). *A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia*. University of Minnesota Press.
- Devlin, K. (2017). *All The Mathematical Methods I Learned in My University Math Degree Became Obsolete in My Lifetime*. [https://www.huffpost.com/entry/all-the-mathematical-methods-i-learned-in-my-university\\_b\\_58693ef9e4b014e7c72ee248](https://www.huffpost.com/entry/all-the-mathematical-methods-i-learned-in-my-university_b_58693ef9e4b014e7c72ee248)
- Dewey, J. (1966). *Democracy and Education*. Free Press.
- F** Freire, P. (1972). *Pedagogy of the Oppressed*. Herder and Herder.
- G** Gopnik, A. Meltzoff, A., & Kuhl, P. (2000). *The Scientist in the Crib: What Early Learning Tells Us About the Mind*. Mariner Books.
- K** Kay, A. (s. f.). As a beginner, what are the best ways to approach Computer Science? <https://www.quora.com/As-a-beginner-what-are-the-best-ways-to-approach-Computer-Science/answer/Alan-Kay-11>
- Klahr, D., & McCoy Carver, S. (1988). Cognitive objectives in a LOGO debugging curriculum: Instruction, learning, and transfer. *Cognitive Psychology*, 20(3), 362-404. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(88\)90004-7](https://doi.org/10.1016/0010-0285(88)90004-7)
- Krugman, P. (2020). Zombie Ideas. *International Monetary Fund* [Podcast]. <http://www.imf.org/en/News/Podcasts>. 16 de julio de 2020.
- Kuhn, T. S. (1997). Second Thoughts on Paradigms. En F. Suppe (Ed.), *The Structure of Scientific Theories* (pp. 459-482). University of Illinois Press.
- L** Lave, J., & Wegner, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press.
- Lorenz, K. (1970). *Studies in Human and Animal Behavior* (Vol. 1). Harvard University Press.
- N** Nunes, T., Carraher, D.W., & Schliemann, A.D. (1993). *Street Mathematics and School Mathematics (Learning in Doing: Social, Cognitive and Computational Perspectives)*. Cambridge University Press.

- O** Olson, D. R. (1994). *The World on Paper: The Conceptual and Cognitive Implications of Writing and Reading*. Cambridge University Press.
- Olson, D. R. (2016). *The Mind on Paper: Reading, Consciousness, and Rationality*. Cambridge University Press.
- P** Papert, S. (1965). *Introduction*. En McCulloch, W. S. (1965). *Embodiments of Mind*. pp. xxv-xxix. MIT Press. Cambridge, MA. USA.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Computers, Children, and Powerful Ideas*. Basic Books.
- Papert, S. (1981). Computer-based Microworlds as Incubators for Powerful Ideas. En R. Taylor (Ed.), *The Computer in the School: Tutor, Tool, Tutee* (pp. 203-210). Teachers College Press.
- Papert, S. (1987). Computer Criticism vs. Technocentric Thinking. *Educational Researcher*, 16(1), 22-30.
- Papert, S. (2006). Afterword: after how comes what. En: *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 581-586). Cambridge University Press.
- Perkins, D. (2010). *Making Learning Whole: How Seven Principles of Teaching Can Transform Education*. Jossey-Bass.
- Perlis, A. (Enero, 1973). *Computing in the Fifties* [Sesión de conferencia]. ACM National Conference, Nashville, TN. ACM '81: Proceedings of the ACM '81 Conference, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.
- Piaget, J. (1997). *Child's Conception of Number*. Psychology Press, Routledge. ISBN: 0415168880, 9780415168885.
- R** Reddy, M. (1979). The Conduit Metaphor. En A. Ortony (Ed.), *Metaphor and Thought*. Cambridge University Press.
- Resnick, M. (1997). *Turtles, Termites, and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*. MIT Press.
- S** Sipitakiat, A., & Cavallo, D. (junio 2008). Giving the Head a Hand: Constructing a Microworld to Build Relationships with Ideas in Balance Control. En Kanseelar, G., Jonker, V., Kirschner, P. A., y Prins, F. J. (Eds.), *International Perspectives in the Learning Sciences: Creating a learning world. Proceedings of the 8th International Conference for the Learning Sciences – ICLS 2008*, (Vol. 2) (pp. 335-342). International Society of the Learning Sciences.
- T** Thurston, W. P. (1994). On Proof and Progress in Mathematics. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 30(2), 161-177.
- Tinbergen, J., & Tinbergen, N. (1990). *Social Behavior in Animals: With Special Reference to Vertebrates*. Springer.
- Turkle, S., & Papert, S. (1990). Epistemological Pluralism and the Reevaluation of the Concrete. *SIGNS: Journal of Women in Culture and Society*, 16(1).
- Tyack, D., & Cuban, L. (1995). *Tinkering Toward Utopia: A Century of Public-School Reform*. Harvard University Press.
- V** Von Frisch, K. (2013). *The Dance Language and Orientation of Bees*. Harvard University Press.
- W** Wilensky, U., & Papert, S. (2010). Restructurations: Reformulating knowledge disciplines through new representational forms. En J. Clayson, & I. Kalas (Eds.), *Constructionist approaches to creative learning, thinking and education: Lessons for the 21st century. Proceedings of Constructionism 2010* (pp. 79-96). Comenius University.
- Wolfram, C. (2020). *The Math(s) Fix: An Education Blueprint for the AI Age*. Wolfram Media.