

# LA FERIA DE CIENCIAS DESDE LA TEORÍA DE SISTEMAS COMPLEJOS

---

Eréndira Munguía Villanueva  
Universidad del Papaloapan

**M**ichiMáticas se originó a partir de la práctica docente de la autora en el curso de “Teoría General de Sistemas” para los programas de Ingeniería en Computación y Licenciatura en Matemáticas de la Universidad del Papaloapan del Sistema de Universidades del Estado de Oaxaca (SUNEO).<sup>1</sup>

Usando la Teoría de Sistemas Complejos como marco teórico, el fenómeno que describiremos será el diseño e implementación de la Feria de Divulgación de Matemáticas MichiMáticas, que se llevó a cabo en el municipio de Loma Bonita, Oaxaca en tres ocasiones en el año 2022. El texto se divide en tres partes: La primera parte del texto la dedicamos a una breve introducción sobre la Teoría de Sistemas Complejos y su relación con la epistemología y la pedagogía, que a grandes rasgos es lo que entendemos por Constructivismo, haciendo énfasis en los retos de “enseñar” Sistemas Complejos usando la Teoría de Sistemas Complejos; la segunda

---

1. “Plan de Estudios de la Ingeniería en Computación”, *Sitio web de UNPA*, Universidad del Papaloapan.

parte muestra el contexto de la divulgación de las matemáticas en México y algunos de los actores que la realizan; la tercera parte describe a MichiMáticas como un sistema abierto con tres niveles de organización, las partes y relaciones que conforman cada nivel del sistema, así como la forma en la que se relacionan los niveles entre sí. En este apartado se hará énfasis en la estética de los materiales, no solo en el sentido de “belleza”, sino del uso de las computadoras para generarlos y destacar con elementos gráficos la estructura de MichiMáticas como un sistema complejo, concluyendo que su realización es una estrategia pedagógica para el aprendizaje de la Teoría de Sistemas Complejos.

## **La Teoría de Sistemas**

La Teoría de Sistemas es una colección de conceptos, principios, métodos y técnicas relacionados a los sistemas. El concepto de Sistema es amplio, y diferentes disciplinas lo usan con distintos significados. En este trabajo se utilizarán como guía las propuestas de la epistemología genética y el estructuralismo, donde el conocimiento se plantea como la organización de las distintas interacciones que experimenta el individuo con su entorno.<sup>2</sup>

### **Teoría General de Sistemas**

Se entenderá por Sistema a cualquier entidad formada por componentes que se relacionan entre sí y, derivado de tales relaciones, crean una totalidad organizada que pueden llegar a tener una identidad propia más allá de “la suma de sus partes”. En contraposición a las teorías sistémicas tenemos el Reduccionismo, que asume que, para conocer el objeto de estudio, basta con el análisis de sus partes más simples, “[t]al planteamiento constituye la antítesis de

---

2. Rolando García, *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria* (España: Gedisa, 2006), 84-85.

cualquier visión sistémica”<sup>3</sup>. Desarrollada inicialmente por L. Von Bertalanffy, la principal propuesta de la Teoría General de Sistemas es considerar el mundo como un conjunto de fenómenos individuales pero interrelacionados, en lugar de aislados, y así observar principios comunes, generales, a todos los sistemas.<sup>4</sup> Por ejemplificar algunas de las observaciones que considera la Teoría General de Sistemas, se puede mencionar la cualidad que tiene el sistema de ser abierto o cerrado. Es decir, si el sistema realiza o no intercambios con su exterior; si cuenta con procesos de retroalimentación; si genera patrones de autosimilaridad, como el caso de los fractales; si el sistema se inscribe en una sola disciplina o implica un estudio interdisciplinario, etcétera.

Se tomará un “sistema” como una representación de un fenómeno que transcurre en determinado espacio e intervalo de tiempo y que es posible modelar como una totalidad organizada. Es decir, se considerará cualquier fenómeno que pueda describirse por la unión de las partes que lo conforman y por las relaciones entre ellas. El sistema no es el fenómeno en sí, sino la representación que de él hacemos tomando en cuenta su evolución a lo largo de un intervalo de tiempo determinado. Las teorías de sistemas enfatizan el estudio de aquellos fenómenos que puedan ser descritos en términos de las relaciones entre las partes, y no en términos del estudio aislado de ellas.

Una característica de las teorías de sistemas es que no se restringen a alguna disciplina específica, pues pueden considerar problemas del dominio biológico, social, matemático, etcétera. Por ejemplo, el concepto de retroalimentación puede aplicarse tanto a

- 
3. Guy Duval, “Teoría de Sistemas. Una perspectiva constructivista”, en *Perspectivas en la Teoría de Sistemas*, coord. Santiago Ramírez (México: Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 1994), 76.
  4. Ludwig Von Bertalanffy, *Teoría General de los Sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones* (México: Fondo de Cultura Económica [FCE], 1989), 30.

procesos metabólicos como a estrategias de marketing. De hecho, aquellos fenómenos donde varias disciplinas convergen han sido el motor de estas teorías, un ejemplo son los estudios de cambio climático, en los que las ciencias naturales deben dialogar con las ciencias sociales para encontrar soluciones adecuadas a las problemáticas derivadas del impacto humano en la naturaleza a lo largo del tiempo.

Si bien varios sistemas son conocidos y abordados desde la educación básica, como el sistema planetario o el sistema digestivo, se hace énfasis en que estos no son los únicos sistemas que se quiere considerar. Por ejemplo, cada persona es en sí misma un sistema, considerando que están constituidas por células que interactúan entre sí para sostener la vida; a su vez, cada célula, que está conformada por partes que interactúan para llevar a cabo los procesos celulares, forma en sí misma un sistema. Además, las personas interactúan formando sociedades, que también pueden ser estudiadas desde una teoría sistémica. Las partes que conforman un sistema pueden ser en sí mismas sistemas. En este caso, se les llamará “subsistemas” del sistema que se analiza. Así, una célula es un subsistema del sistema digestivo, que a su vez es un subsistema del cuerpo humano, que a su vez podría considerarse como subsistema de un grupo escolar.

Cualquier fenómeno que pueda estudiarse mediante el análisis de sus partes y las relaciones entre ellas puede ser considerado como un sistema, independientemente de si tiene asociado un nombre común que contenga la palabra “sistema”, esta es una confusión común entre los estudiantes. Además, pueden hacer referencia no solo a cosas concretas, sino también a sistemas formales como los sistemas numéricos (formados por números y operaciones entre ellos) o la sintaxis de un determinado idioma (formado por palabras de ese idioma y relaciones específicas entre ellas).

## Sistemas Complejos

Para entender el concepto de Sistema Complejo, primero debemos precisar que por “complejo” no se refiere a “complicado” o “difícil”, no obstante, el estudio de algunos de estos sistemas puede tener esta característica. Si bien el aprendizaje de este concepto es la principal motivación del presente trabajo, no se considera que pueda llevarse a cabo con la simple lectura de definiciones y precisiones, de ahí el esfuerzo dedicado a proyectos como MichiMáticas. No obstante, en las siguientes líneas se tratará de bosquejar lo que se entiende por Teoría de Sistemas Complejos. Según Guy Duval, un sistema complejo desde una perspectiva constructivista tiene dos características importantes:

1. El Sistema Complejo es una propuesta de organización (en el nivel cognoscitivo) de un recorte de la realidad. El investigador selecciona situaciones, fenómenos, procesos e integra con ellos una entidad que tiene un funcionamiento especial [...] Al inicio de la investigación, el primer esquema de sistema no es más que una hipótesis de trabajo.
2. El sistema complejo se concibe necesariamente abierto. Guarda relaciones con factores externos cuyas dinámicas propias son autónomas en relación con él.<sup>5</sup>

La primera característica nos dice que un sistema siempre será un sistema formal, es decir, es una forma en la que las personas organizamos en nuestras mentes las observaciones que hacemos de cierto fenómeno, no el fenómeno mismo. El sistema geocéntrico y el sistema heliocéntrico estudian el mismo fenómeno, la interacción del Sol con los planetas, pero en su construcción no solo intervinieron las observaciones de los astrónomos de la

---

5. Guy Duval, “Teoría de Sistemas”, 78.

época, sino claramente también la concepción que cada observador tenía del universo como partícipe de una sociedad concreta. De aquí que no se considere que el sistema esté dado, sino que es el resultado de la interacción entre el fenómeno y quien lo investiga a lo largo del tiempo que dure la investigación. De hecho, el sistema solar, tal cual se aprende y enseña en educación primaria, no es exactamente equivalente a la forma en la que el Sol y los planetas interactúan, ya que variables como la excentricidad de las órbitas o el hecho de que el Sol en sí está en movimiento respecto al centro de la galaxia suelen dejarse de lado en este nivel.

La segunda característica es que todo sistema complejo es abierto, lo que significa que necesariamente se realiza un intercambio entre el sistema y su exterior, aun cuando los límites sean difusos. Estos intercambios generan perturbaciones del sistema. Un sistema puede mantener su estructura bajo perturbaciones pequeñas, siempre y cuando se encuentre en una región estable, de lo contrario, pequeñas perturbaciones en los parámetros del sistema pueden conducir a cambios de estructura. Nuestro cuerpo es claramente un sistema abierto, pues necesitamos ingerir y excretar continuamente nutrientes y desechos, de lo contrario el sistema no puede seguir funcionando como tal, es decir, necesitamos continuamente intercambios con el exterior para mantenernos vivos.

Además de estas características, un Sistema Complejo, según Rolando García, tiene dos principios que lo caracterizan: “una disposición de sus elementos por niveles de organización con dinámicas propias, pero interactuantes entre sí; y una evolución que no procede por desarrollos continuos sino por reorganizaciones sucesivas”.<sup>6</sup>

El primer principio nos dice que en un sistema complejo los elementos están jerarquizados, lo que no implica que uno u otro componente sea más o menos importante, sino que hay una distinción en

---

6. Rolando García, *Sistemas complejos*, 80.

cuanto a tamaño y duración de los procesos e interacciones a los que están sometidos los componentes que dividen al sistema en distintos niveles de organización. En cada nivel de esa jerarquía, ocurre una dinámica propia que cambia el estado de cada subsistema a lo largo del tiempo. Dichos cambios pueden llevar al cambio de estado del sistema completo; a la vez, estos niveles se relacionan de cierta forma entre sí. Tal es el caso del cuerpo humano como sistema, donde vemos niveles de organización, cada uno con sus propias dinámicas, incluso con distintas escalas espaciales y temporales, que interactúan entre sí: célula - sistema digestivo - cuerpo humano - aula. Los cambios ocurridos en una célula suelen pasar desapercibidos para una persona, debido a que son intercambios en escalas espaciales y temporales muy pequeñas en comparación con el cuerpo humano, pero, si dichos cambios se dan masivamente en el conjunto de células o se dan en un lugar o tiempo críticos, estos pueden ser percibidos e incluso desencadenar la reorganización del sistema completo.

El segundo principio esboza lo que en matemáticas suele llamarse como “no linealidad” de un sistema. Consideremos el sistema de un vaso lleno de agua al que se le agrega desde el exterior una gota de agua a la vez. Solo en un momento crítico una gota de agua producirá el derramamiento del líquido; mientras que no se llegue a esa situación crítica, las gotas de agua añadidas no modificarán sustancialmente el sistema. El vaso con agua antes de derramarse y el vaso con agua después de derramarse pueden considerarse como parte del mismo sistema, donde la estructura del mismo ha cambiado debido a una pequeña perturbación (añadir una sola gota de agua) que ha sucedido en la región de inestabilidad, provocando un gran cambio en la estructura del sistema. Dichos cambios conforman reorganizaciones del sistema, pues, aunque antes del derrame se tuviera más capacidad de predicción sobre el comportamiento del agua, después del derrame sucede algo en lo que aún se puede encontrar estructura. El agua escurre hacia abajo por las paredes del vaso, su comportamiento no es del todo azaroso, pero la dinámica

del agua ha cambiado definitivamente. Pequeñas perturbaciones han sido causa de grandes cambios y han reorganizado el sistema.

Muchos procesos educativos a distintos niveles pueden estudiarse bajo la perspectiva de los sistemas complejos. En un nivel individual, los procesos mediante los cuales adquirimos conocimiento, las distintas interacciones en nuestros cerebros y nuestra mente pueden abordarse desde el pensamiento sistémico. En otro nivel, las interacciones en el aula, entre estudiantes y docentes, conforman a su vez un sistema que puede considerarse como subsistema de la escuela. En otro nivel, el sistema educativo de un país e incluso las convenciones internacionales pueden modelarse mediante sistemas complejos; las dinámicas que allí se den afectan todas las dinámicas educativas mencionadas. Claramente estos sistemas interactúan entre sí, promueven o delimitan sus subsistemas. Además, son impactados por otros sistemas emergentes como el internet, las redes sociales y la inteligencia artificial. El pensamiento sistémico puede ser una gran herramienta no solo para la investigación científica, sino para analizar los distintos sistemas que afectan cotidianamente a estudiantes y docentes en esta etapa del desarrollo tecnológico de la humanidad.

En una visión reduccionista, es decir contraria a las teorías sistémicas, la cuestión de la enseñanza se plantearía comenzando con las unidades más pequeñas posibles, por ejemplo, una neurona, y se intentaría explicar, a partir de esa unidad, la adquisición de conocimiento como una serie de causalidades en cascada. Pero las neuronas son básicamente idénticas unas de otras, mientras que las personas tienen conocimientos distintos y, más aún, diversas interpretaciones de un mismo fenómeno. Así, la cuestión de la adquisición de conocimientos no puede resolverse a partir de la reducción de los componentes involucrados, sino que necesariamente debe considerar distintos niveles de organización y las diversas relaciones que atraviesan a dichos componentes.

## Epistemología Genética y Constructivismo

Una explicación detallada de la teoría de la Epistemología Genética de Jean Piaget escapa a los límites de este texto, pero se esbozarán algunos de sus principios siguiendo los trabajos de Rolando García en su texto *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. Primero, por Epistemología nos referimos específicamente a “una teoría del conocimiento científico”, esto es, una teoría que se desarrolla alrededor de la pregunta ¿Cómo adquirimos los conocimientos científicos? Involucra las reflexiones de qué es el conocimiento, qué es la ciencia, etcétera. El adjetivo de “genética” no se refiere a los genes que conforman nuestro ADN, ni tiene que ver con la consideración del dominio biológico. Piaget usó el término “genética” en el sentido estricto de “génesis”, en particular de génesis del conocimiento, esto es, intentar develar el proceso mediante el cual se origina el conocimiento, sin asumir en ningún momento que la respuesta esté contenida en la biología, aunque el término “genética” hoy día suele estar asociado a esta disciplina.

En consonancia con la Teoría General de Sistemas, la epistemología genética se interesa por aquellas características generales al proceso de desarrollo del conocimiento. Una de sus conclusiones es que “los mecanismos de adquisición del conocimiento deben de ser comunes a todas las etapas de desarrollo, no solo desde la niñez hasta la persona adulta, sino también hasta los niveles más altos del conocimiento científico”.<sup>7</sup> Es decir, aquellos mecanismos que permiten a los niños aprender, son los mismos que actúan a otros niveles para permitirnos como adolescentes o adultos aprender nuevos conocimientos. Dichos mecanismos son los mismos,

---

7. Rolando García, *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos* (España: Gedisa, 2000), 49.

pero actúan sobre distintas estructuras, incluso a distintos niveles, dependiendo el contexto, para permitirnos aprender desde el concepto de multiplicación hasta el de ecuación diferencial.

En el presente trabajo se entiende por constructivismo el enfoque planteado por García como continuidad de los trabajos realizados por Piaget en el marco de la epistemología genética, la cual se llamará también epistemología constructivista. Así entendido, el constructivismo está en sintonía con las teorías de sistemas, en particular con la Teoría de Sistemas Complejos, donde se comprende al aprendizaje como un proceso de sucesivas reorganizaciones de las estructuras conceptuales existentes en los niveles y sistemas que atraviesa. Insistimos en que dichos sistemas no se consideran dados, sino que son a su vez construcciones que el epistemólogo formula para entender los fenómenos de adquisición de conocimientos.

La epistemología constructivista busca “analizar en qué consiste que un individuo, o la ciencia en un período dado, construyan lo que la misma sociedad considera como un nivel de conocimiento más avanzado”.<sup>8</sup> El enfoque constructivista plantea que la adquisición de nuevos conocimientos es un fenómeno representado en múltiples sistemas que interactúan entre sí, desde los neuronales hasta los sistemas sociales, que afectan todos el proceso de aprendizaje de una u otra manera, y cuyos procesos pueden implicar retroalimentación del sistema. El constructivismo explica la adquisición de nuevos conocimientos como el producto de acciones sostenidas en el tiempo que generarán sucesivas reorganizaciones del sistema de conocimientos del individuo. Así, no es la mera interacción con el objeto que desea aprenderse lo que provoca el aprendizaje, sino los procesos de reorganización que dicha interacción genera, mediada por los sistemas que la atraviesan, en las estructuras mentales del sujeto.

---

8. Rolando García, *El conocimiento en construcción*, 52.

## **Sistemas Complejos y Pedagogía**

En el marco de la epistemología constructivista, el aprendizaje se entiende como un proceso que comienza en las interacciones en los niveles donde las personas se relacionan, para luego ser interiorizadas por el individuo. El constructivismo concibe el aprendizaje de nuevos conceptos como originado en un sistema, como por ejemplo, un aula de clase, un taller, etc., pero que es el resultado de un proceso que transcurre a lo largo del tiempo a partir de allí, por sucesivas interacciones de los fenómenos que ocurren a ese nivel con los fenómenos internos del individuo como sistema.

La pregunta de ¿cómo enseñar? se transforma en el contexto constructivista en ¿cómo acompañar el proceso de aprendizaje? Esto implica que no se asume que el conocimiento se adquiere directa y proporcionalmente a las acciones del docente, sino que es el producto de un cambio de estructura de un sistema abierto que admite perturbaciones, el complejo cognoscitivo del estudiante. La guía y cuidado del docente son aquellas perturbaciones externas a nivel de aula que, sostenidas en el tiempo, pueden llevar a la construcción de nuevos conceptos, al aprendizaje de nuevos contenidos. El pedagogo constructivista no sabe a priori cuándo y cómo cambiarán las estructuras de conocimiento en un estudiante en concreto, ni exactamente qué requerimientos específicos tendrá su proceso de aprendizaje. Será la experiencia guiada por el marco conceptual lo que le irá dotando de herramientas pedagógicas e intuición necesarias.

No hay recetas escritas para una pedagogía constructivista, solo principios que prepararán a los participantes para entrar a este paradigma de estudio y aprendizaje. Estos están derivados de la experiencia de docentes y pedagogos constructivistas, las cuales han sido

exitosas para generar lo que conocemos como aprendizajes profundos<sup>9</sup> o significativos.

## **Aprender sobre la Teoría de Sistemas Complejos**

Fenómenos globales, como el cambio climático, o tecnológicos, como las redes neuronales, requieren de la Teoría General de Sistemas para ser analizados si se quiere tomar en cuenta tanto los ecosistemas como las sociedades, pues se requiere vislumbrar las relaciones que sistemas de tan distinta naturaleza tienen entre sí a lo largo del tiempo y a distintas escalas. Ahora más que nunca, es de suma importancia formar jóvenes que puedan usar estas teorías para dar sentido a una realidad compleja y acelerada.

Como docentes, también se necesita entender los distintos niveles de los fenómenos que atraviesan en la práctica docente y cómo estos se relacionan con ellos, y qué relaciones tienen entre sí. Es decir, se deben de dotar de herramientas para evidenciar la estructura de los sistemas culturales, económicos, climáticos, etc., que les afectan. Claramente, ninguna teoría puede prometer transparencia absoluta, pero la Teoría de Sistemas Complejos proporciona un marco para entender los procesos que nos llevan a “aprender a aprender”, pues organiza el conocimiento no solo a un nivel, sino a lo largo de distintos niveles de organización y escalas temporales, con lo que damos el gran salto de pasar de aprender un contenido específico a aprender cómo aprender cualquier contenido análogo. Y esto es algo que vale la pena compartir.

---

9. Sue L. T. McGregor, “Emerging from the Deep: Complexity, Emergent Pedagogy and Deep Learning”, *Northeast Journal of Complex Systems [NEJCS]* 2, núm. 1 (2020): 1.

## **Principios para el aprendizaje de la Teoría de Sistemas Complejos**

Algunos de los principios para generar entornos de aprendizaje en sintonía con la Teoría de Sistemas Complejos, y con el enfoque Constructivista, se pueden encontrar, por ejemplo, en documentos de planificación para abordar la pedagogía de sistemas complejos del Instituto de Sistemas Complejos de Nueva Inglaterra:<sup>10</sup>

1. Conectar con las pasiones, intereses y experiencias de sus estudiantes. Quienes están en un proceso de aprendizaje de la Teoría de Sistemas Complejos necesitan entender que están por adquirir poderosas herramientas intelectuales útiles en un gran rango de fenómenos. Los estudiantes a menudo desarrollan pasión e interés en estos contenidos cuando son relacionados con situaciones del mundo real, como lo son las actividades comunitarias.
2. Experimentar directamente fenómenos complejos. Los estudiantes necesitan oportunidades de experimentar y analizar directamente experiencias y fenómenos que involucren complejidad, y que a la vez sean accesibles o formen parte de su cotidianidad.
3. Hacer explícitos los conceptos básicos. En las distintas actividades generadas a partir de la experiencia directa de fenómenos complejos habrá múltiples oportunidades de reconocer los conceptos básicos que resaltan lo inusual en lo ordinario.
4. Fomentar la colaboración, el debate y la reflexión. Dado que el papel docente cambia para acompañar un proceso de aprendizaje, las reflexiones que llevarán al aprendizaje deben,

---

10. Michael Jacobson y Uri Wilenky “Complex Systems and Education: Scientific and Educational Importance and Implication for the Learning Sciences”, *Journal of the Learning Sciences* 15, núm. 1 (2009): 19.

necesariamente, llevarse a cabo como debates y colaboraciones entre pares o entre estudiante y docente. Esto resulta mucho más atractivo y motivante que el esquema tradicional de enseñanza donde el estudiante recibe pasivamente datos descontextualizados.

5. Construir teorías, modelos y experimentos. Como hemos visto, una de las tesis centrales del enfoque constructivista es precisamente que el estudiante construye activamente nuevos conocimientos. Una forma de implementar este enfoque en el estudio de sistemas complejos es involucrar a los estudiantes en cuestiones relacionadas con estos sistemas para que sean ellos quienes construyan teorías alrededor de los fenómenos, las estructuren y confronten con la experiencia.
6. Entender el aprendizaje profundo o significativo como un proceso de exploración y entendimiento. En este punto se enfatiza que el objetivo del aprendizaje de los Sistemas Complejos no debe ser el cubrir cierto temario concerniente a la Teoría de Sistemas Complejos, sino de integrar la metodología y principios de la teoría a lo largo de la experiencia educativa. Debería quedar claro a los estudiantes que los conceptos aprendidos de esta experiencia de aprendizaje pueden ser usados en un gran rango de situaciones, incluyendo aquellas que conciernen a su cotidianidad, pero también a las estructuras más globales de la sociedad.

## **Divulgación de las Ciencias y Pedagogía**

*Contrariamente a lo que parecería, la actividad de la divulgación de la ciencia es una de las que más creatividad e imaginación exige a sus cultivadores.*

Manuel Calvo

En palabras de Manuel Calvo, periodista y divulgador científico, “[c]omo todo concepto que encierre verdad y complejidad, la divulgación científica resulta difícil de definir”.<sup>11</sup> Efectivamente, la divulgación de la ciencia puede conceptualizarse como un sistema complejo en contacto permanente con otros sistemas de comunicación del conocimiento como pueden ser los sistemas educativos escolarizados, las redes sociales, redes de divulgadores, etcétera. En el presente texto se considerará como divulgación de las ciencias a todas aquellas actividades encaminadas a comunicar aspectos científicos a la mayor cantidad posible de personas. Esto implica, por un lado, conocer los contenidos científicos con profundidad suficiente y, por el otro, comunicarlos a un público no especializado y diverso en términos de edad, escolaridad, etcétera. Para las actividades de divulgación de la ciencia, es posible usar cualquier medio como pueden ser ferias de ciencia, concursos, medios de comunicación masiva, aplicaciones web, por ejemplo.

La enseñanza no tiene como objetivo principal la divulgación científica, se puede decir que su objetivo principal es que las personas estén motivadas para aprender más sobre los contenidos científicos, y promover una actitud abierta al aprendizaje de conceptos y métodos de la ciencia, pero no realizar el proceso de enseñanza-aprendizaje directamente. Según Calvo, “[l]a divulgación científica no sustituye a la educación, pero puede llenar vacíos en la enseñanza moderna, contribuir al desarrollo de la educación permanente y ayudar al público a adoptar una determinada actitud ante la ciencia”.<sup>12</sup>

La divulgación científica implica retos con los que todo proyecto tendrá que lidiar para lograr el objetivo de comunicar la

---

11. Manuel Calvo, “Objetivos y Funciones de la Divulgación Científica”, *Revista digital de la Asociación de la Asociación Española de Autores Científico-Técnicos y Académicos*, núm. 40 (2006): 99.

12. Manuel Calvo, “Objetivos y Funciones”, 104.

ciencia a la mayor cantidad de personas. Por un lado, aquellos riesgos que conciernen al desequilibrio en el reparto del conocimiento, si sus beneficios son inaccesibles para ciertos sectores por cuestiones geográficas, económicas, etcétera. Por otro, aquellos que conciernen a la dificultad para comprender ciertos aspectos científicos, con lo que se corre el riesgo de que, en vez de construir esquemas científicos que preparen para un mejor entendimiento de los fenómenos a las personas, los contenidos sean mal entendidos o tergiversados y promuevan estructuras y métodos pseudocientíficos.

La toma de decisiones respecto al uso de productos científicos y tecnológicos resulta un enorme reto para las sociedades actuales que necesitan una plataforma mínima de conocimiento científico, pero sobre todo una actitud adecuada para aprender sobre fenómenos científicos y sus posibles implicaciones en la vida cotidiana, así se encuentren dentro de un programa escolarizado de aprendizaje científico o no.

### **Divulgación de las Matemáticas en México**

La divulgación de las matemáticas es una actividad que tiene como objetivo exponer al público general a conceptos matemáticos diversos, de forma tal que confronte o sustituya preconcepciones negativas de las disciplinas, las cuales son predominantes en la población mexicana, y muestre un rostro lúdico y artístico que muchas veces es difícil de abordar en el aula, sobre todo para esta materia.<sup>13</sup>

Entre los proyectos dirigidos a la divulgación de las matemáticas en México encontramos: “Matemáticas en la Calle” de la Sociedad Matemática Mexicana; el Festival Matemático del Instituto de Matemáticas de la UNAM; “Taller de Ciencia para Jóvenes” y “Matemorfosis”, entre otros, del Centro de Investigación en Matemáticas; la exposición permanente “Imaginario Matemático” del

---

13. Gerardo Hernández, “¿Por qué le tememos a las matemáticas y cómo afecta nuestro futuro evitarlas?”, *El Economista*, 10 de agosto, 2021.

UNIVERSUM; “Artemat: Matemáticas para la paz” organizado por el Instituto de Matemáticas de la UNAM y Siembran Arte Sustentable; en Oaxaca, la “Guelaguetza Matemática” organizada desde el Programa Oaxaqueño de Fortalecimiento a la Educación.

En Loma Bonita, Oaxaca, en la región del Papaloapan, se llegaron a realizar algunas ediciones de actividades tipo feria de matemáticas en los proyectos “Matemáticas para todos” y “Matemáticas en la calle” coordinados por la Universidad del Papaloapan (UNPA). Además, durante la feria anual del municipio, la Feria de la Piña, suele haber espacios para las escuelas locales de distintos niveles, las cuales promueven algunos contenidos matemáticos derivados de sus clubes de matemáticas o de contenidos oficiales, entre una variedad de contenidos de las diferentes materias que conforman sus programas de estudio. Al estar geográficamente lejos de los museos de ciencia y de las capitales más pobladas, estos son los únicos espacios en los que hay oportunidad de que el público general de Loma Bonita se acerque a las matemáticas desde un enfoque lúdico.

## **MichiMáticas**

MichiMáticas es una feria de ciencias para público general enfocada a la divulgación de las matemáticas. Se pretende divulgar contenidos matemáticos usando retos y premios para motivar al visitante. MichiMáticas tiene como antecedente la instalación “¿Qué es Pi?”, realizada el Día Internacional de las Matemáticas 2022, el 14 de marzo, en bajos del Palacio Municipal de Loma Bonita, Oaxaca.

MichiMáticas consta de varios módulos a los que el público puede acercarse, resolver un reto y ganar un dulce. El reto de cada módulo tiene una propuesta lúdico-pedagógica para mostrar un contenido matemático específico, haciendo uso de material didáctico, michis y dulces. Michis porque a todos nos gustan los gatitos, y caramelos porque no encontramos una forma más saludable de recompensar a quienes realizaban los retos, aunque definitivamente

es un punto para mejorar. Cada módulo tiene una “ficha de usuario” donde se pueden leer las instrucciones para cada actividad, y una “ficha de tallerista” donde está descrita una explicación a nivel básico de las actividades de cada módulo y de los contenidos abordados.

### **MichiMáticas como Sistema Complejo**

Para describir MichiMáticas como un sistema, necesitamos describir sus elementos y las relaciones entre estos. MichiMáticas se compone de varias actividades de divulgación que tienen elementos en común que las relacionan y que conforman la estructura de la feria y del proyecto en general. A su vez, cada componente puede describirse como un sistema en sí, lo que lo convierte en un subsistema. MichiMáticas se realiza en un lugar y tiempo determinado donde los módulos ejecutan sus actividades simultáneamente, tiene un recorrido sugerido por la disposición espacial de cada módulo, pero este es flexible y permite a los visitantes recorrer la feria a su gusto.

### **Actividades que conformaron MichiMáticas en sus ediciones del 2022**

**SALTA EL NÚMERO.** Se trata de formar un corro donde los participantes lanzan entre ellos una pelota al tiempo que dicen en voz alta una serie de números elegida por el tallerista al estilo “todos los números excepto los múltiplos de 7”. El contenido matemático son las tablas de multiplicar y otras sucesiones de números naturales; la propuesta lúdico-pedagógica es que con esta actividad los visitantes practicarán este tipo de sucesiones numéricas en un ambiente jocoso en el que incluso la tabla del 7 suele volverse divertida para chicos y grandes.

**BURBUJAS TENSAS Y CÍRCULOS PERFECTOS.** Se trata de formar un círculo perfecto con jabón, agua, espuma e hilo. Se crea una superficie de jabonadura, por ejemplo, usando un aro de tejer, y se

deposita cuidadosamente un hilo delgado al que se le han atado sus extremos. Al romper la porción de la mezcla que queda en el interior del hilo, se forma un círculo por tensión superficial de la jabonadura que rodea el hilo. El contenido matemático es el círculo, aunque se puede añadir el fenómeno de tensión superficial; la propuesta lúdico-pedagógica es que los visitantes realicen el experimento y con esto obtengan motivación y conocimientos sobre los contenidos.

**OPERAMA.** Es una versión del clásico juego de memorama, pero donde las parejas de cartas no son idénticas, sino que corresponden al mismo resultado de dos operaciones distintas, por ejemplo, cinco más tres, y dos por cuatro. El contenido matemático son las operaciones aritméticas, pero también se puede discutir el principio de identidad y los sistemas de notación matemática; la propuesta lúdico-pedagógica es que los visitantes se vean motivados a practicar estas operaciones y reflexionen sobre las distintas formas de escribir un mismo número.

**TEOREMA DE PITÁGORAS.** Usando un prototipo construido con madera y acrílico, los cuadrados de los lados de un triángulo se rellenan con semillas, de forma tal que el usuario pueda manipular el triángulo y observar cómo el volumen de semillas del cuadrado de la hipotenusa llena los cuadrados de los catetos y viceversa. El contenido matemático es el Teorema de Pitágoras; la propuesta lúdico-pedagógica es que la experiencia guiada por las talleristas lleve a la comprensión del contenido, aún sin hacer uso de fórmulas matemáticas.

**ADIVINACIÓN CON ALGORITMOS.** Al estilo de un truco de matemagia se “adivina” la edad y talla del zapato del visitante, además, se anima al visitante a fungir como matemago y realizar el truco con otros visitantes. El contenido matemático es la estructura condicional “si... entonces” que es utilizada para el truco de “adivinación”; la propuesta lúdico-pedagógica es que la experiencia

guiada por las talleristas motive el uso y estudio de las estructuras lógicas que son clave para la programación computacional.

**CUADRO MÁGICO.** Se trata de completar un cuadro mágico de tres por tres, y comparar las soluciones por ensayo y error con un algoritmo que resuelve el cuadro. El contenido matemático es el concepto de algoritmo y eficiencia; la propuesta lúdico-pedagógica es que la experiencia motive el uso de algoritmos para la resolución de problemas y la búsqueda de formas óptimas de resolución.

#### **Estructura de MichiMáticas. Primer Nivel. Elementos**

Elementos conceptuales: contenido científico y reto; una propuesta lúdico-pedagógica; una paleta de colores.

Elementos físicos: un prototipo; carteles y fichas técnicas impresas; dulces; elementos de soporte como mesas, sillas, mamparas.

Elementos humanos: talleristas y visitantes.

#### **Estructura de MichiMáticas. Primer Nivel. Relaciones**

Se propone una relación entre el reto y el contenido que denominamos “propuesta lúdico-pedagógica”. Talleristas y visitantes hacen uso de los prototipos para realizar la propuesta lúdico-pedagógica; los materiales e instrucciones de construcción de los prototipos se encuentran en las fichas técnicas para talleristas. Los talleristas ejecutan las “actividades para talleristas” e interactúan con los visitantes que participan en los retos y ganan los dulces. En MichiMáticas se promueve, en todo momento, la colaboración, la empatía y se procura practicar la paciencia, tanto con pares como con el público y docentes. Se recalca que el objetivo de las actividades hacia el público es divulgar y no enseñar, que la recompensa es por participar en el reto y no por ganarlo, y que el objetivo principal es experimentar un sistema complejo con todo y sus realidades complejas, más que obedecer unas instrucciones determinadas.

El cartel y las fichas técnicas de cada módulo, que son elementos impresos para uso de los visitantes, tienen un diseño gráfico

específico que utiliza la paleta de colores y un avatar de michi por módulo. Tanto la paleta de colores como el estilo de dibujo de los michis sugieren a los visitantes que la feria es para público general y tiene como público objetivo a los estudiantes de nivel básico. Esto da coherencia estética a la feria, ayuda a los visitantes a estimar los límites de MichiMáticas y sienta el tono de las actividades, además de facilitar la producción de estos elementos e incluso da claridad sobre los objetivos del proyecto. La paleta de colores fue elegida por los talleristas, por medio de voto libre y secreto de entre cinco propuestas.



Fig. 1: De izquierda a derecha: “Portada de MichiMáticas”, “Cartel”. Elaboración propia.



Fig. 2: De izquierda a derecha: “Ficha para visitante”, “Ficha para tallerista”. Elaboración propia.

## Estructura de MichiMáticas. Segundo Nivel. Elementos

Elementos conceptuales: temario de la materia de Teoría General de Sistemas; constructivismo como marco teórico para la pedagogía de los Sistemas Complejos; gramática de las gráficas como marco para el diseño gráfico de los elementos impresos.

Elementos físicos: aula con pizarrón para las sesiones de entrega de avances, retroalimentación de ensayos y presentaciones; material para prueba y construcción de los prototipos; materiales para prueba e impresión de carteles y fichas técnicas.

Elementos humanos: docente y estudiantes.

## Estructura de MichiMáticas. Segundo Nivel. Relaciones

A partir de los principios para el aprendizaje de la Teoría de Sistemas Complejos,<sup>14</sup> MichiMáticas se diseñó como una actividad donde los estudiantes participaran activamente, experimentarían la

14. Jacobson y Wilensky, “Complex Systems in Education”.

organización autónoma, y decidieran, según sus gustos e intereses, los contenidos que abordaría cada equipo, así como el tono general de la actividad en su interacción directa con público diverso del municipio de Loma Bonita, Oaxaca. Para exponer a los estudiantes a conceptos como “isomorfismo”, se indicó que la estructura de cada módulo debía ser isomorfa a la actividad previa “¿Qué es Pi?”, se puede decir que las actividades son isomorfas en estructura, distintas en contenido. Esto es, se abordan distintos contenidos matemáticos, pero cada módulo tiene, en esencia, la misma forma de presentarse al público. Las fichas técnicas son el resultado de un proceso dialéctico entre estudiantes y docente, siendo las versiones finales el resultado de múltiples correcciones y adaptaciones.

Siguiendo la Teoría de Sistemas Complejos, consideramos MichiMáticas como un sistema abierto donde los visitantes pueden entrar y salir, y dejar comentarios y sugerencias para retroalimentación del sistema, aunque este último objetivo en realidad no se logró implementar de manera eficiente.

Se creó un tema para el diseño gráfico de los elementos impresos, el cual dotó a las MichiMáticas de una identidad gráfica compuesta de una paleta de colores y el concepto de los michis. Las imágenes que conforman las cintillas que aparecen a la izquierda de las fichas se obtuvieron mediante un autómata celular, análogo al autómata celular elemental de Wolfram,<sup>15</sup> con modificaciones al código. Esto se hizo para hacer uso de más de dos colores pertenecientes a la paleta de colores decidida, lo cual hace alusión al contenido de un curso de Sistemas Complejos y a la emergencia de patrones, aunque un análisis profundo de estos conceptos queda fuera de los límites del presente trabajo.

Estos elementos “estéticos” dan coherencia al sistema, no es, simplemente, para que los módulos se vean bonitos. Muchas veces

---

15. Daniel Shiffman, “Cellular Automata”, en *The Nature of Code* (San Francisco: No Starch Press® Inc, 2012), 345.

estos elementos suelen ser despreciados por los científicos especializados en las llamadas ciencias exactas, pero la estética ha cobrado una renovada importancia a raíz del uso de herramientas digitales para el quehacer científico, sin las cuales la producción de los materiales gráficos de MichiMáticas no hubiera sido posible. Como se ha señalado, el uso de estas herramientas es una “oportunidad científica” de exploración y crecimiento,<sup>16</sup> que ofrece, a científicos y docentes, la posibilidad de la visualización de datos y la narración de historias con trasfondo científico.



Fig. 3: De izquierda a derecha: “Paleta de colores elegida en la asamblea”, “Patrones de cintilla para los materiales diseñados para público general, talleristas y docentes interesados en replicar MichiMáticas en sus comunidades”. Elaboración propia.

### **Estructura de MichiMáticas. Tercer nivel**

Para el tercer nivel de análisis de MichiMáticas como sistema complejo se tiene que considerar que es una actividad inscrita en el curso de Teoría General de Sistemas, una materia contenida en el tronco común de todas las carreras ofertadas por el Sistema de Universidades del Estado de Oaxaca (SUNEO), en particular, las carreras de Ingeniería en Computación y Licenciatura en Matemáticas suelen llevar Teoría General de Sistemas en el mismo grupo, como fue el caso que dio origen a MichiMáticas.

Otros elementos tienen relación con los espacios disponibles para la realización de MichiMáticas en Loma Bonita, Oaxaca,

---

16. Ignacio Moreno, “Redes, heterarquía y estética: reflexiones desde las Ciencias de la Complejidad y las Humanidades Digitales”, *unodiverso, Revista de Complejidad en Ciencias Sociales y Humanidades* 3, núm. 3 (2023), 11.

lo cual involucra la coordinación de distintas instituciones, desde municipales hasta internacionales, con agendas diversas, y a la comunidad de Loma Bonita, Oaxaca. Sin estas sería imposible que MichiMáticas se realizara como fenómeno de divulgación de las matemáticas y adquiriera una vida real más allá del proyecto.

Las presentaciones que se realizaron de MichiMáticas fueron: Bajos del Palacio Municipal en el Día Internacional de Pi, declarado por la ONU, en marzo 2022, con un estimado de 100 visitantes (antecedente: ¿Qué es Pi?).

Pasillos de la UNPA Campus Loma Bonita con invitación a vecinos y familiares de diversas edades a principios de mayo de 2022, con un estimado de 50 visitantes.

Como parte de las actividades de la Feria de la Piña en el espacio de la UNPA a finales de mayo 2022, con un estimado de 30 visitantes. Se cree que la baja afluencia a este evento se debió al horario, relativamente temprano, y a la ubicación del stand de la UNPA, el cual no fue tan visible ese año.

En el marco de las actividades de la Semana Nacional de Ciencia y Tecnología realizada en el Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios núm. 90 en octubre del 2022, con un estimado de 200 visitantes. Esta edición fue la más concurrida, y en la opinión de talleristas y docente, la más exitosa, pues los prototipos habían sido mejorados, así como la confianza y habilidad de los talleristas.

## **Conclusiones**

MichiMáticas nació como una estrategia pedagógica para el aprendizaje de la Teoría de Sistemas Complejos. Al realizarse, permitió a los estudiantes ser constructores y partícipes del sistema MichiMáticas en los niveles primero y segundo. Asimismo, dio oportunidad de que experimentaran tanto las sucesivas reorganizaciones en los elementos físicos y conceptuales que conlleva la construcción de cada módulo, desde su conceptualización hasta su producción,

como la experiencia de relacionarse con el público general. Por esto mismo, la estrategia fue exitosa como parte del estudio de la Teoría de Sistemas Complejos.

Por resaltar una de las características que señalan la complejidad de MichiMáticas, se puede mencionar la variable de el número de visitantes. Para cada módulo, el número de visitantes depende de si los otros módulos están saturados o no, de la duración de las actividades, y del número de visitantes a la feria en general, además de lo atractivo del material de cada módulo y de la habilidad del tallerista. Esta variable que involucra los procesos de todos los niveles de MichiMáticas da cuenta de la complejidad del fenómeno, aun cuando su medición sea imprecisa por no contar con herramientas adecuadas. Para trabajos futuros, queda pendiente generar instrumentos de medición que clarifiquen si el objetivo de MichiMáticas, como actividad de divulgación de las matemáticas, fue alcanzado.

No fueron pocas las ocasiones en las que los estudiantes se sentían desorientados, dada la autonomía que se dio a cada equipo para construir un módulo, pero conforme se avanzó en el proyecto estas sensaciones se diluyeron. Esto permitió que los estudiantes mostraran una actitud cada vez más propositiva y una soltura creciente con cada presentación. MichiMáticas contuvo “elementos esenciales que le dan sentido a la participación social como un proceso de aprender y saber”<sup>17</sup> como se mencionan en el *Manifiesto de la ciencia recreativa* en México, al reconocer los participantes el valor de llevar a cabo la feria y las habilidades obtenidas tanto en su diseño como en las presentaciones a la comunidad. Además del reconocimiento de los cambios y reorganización que esta actividad produjo en estudiantes y docentes, quienes aprendimos a dialogar entre nosotros para producir algo que impactó en el mundo real, lo cual reorganizó nuestras relaciones en el aula y la comunidad.

---

17. M. García-Guerrero, et al., “Manifiesto de la ciencia recreativa”, *Journal of Science Communication – América Latina* 05, núm. 02 (2022): 10.

## Fuentes de investigación

- Calvo, Manuel. “Objetivos y Funciones de la Divulgación Científica”, *Revista digital de la Asociación Española de Autores Científico-Técnicos y Académicos*, núm. 40 (2006): 99-106.
- Duval, Guy. “Teoría de Sistemas. Una perspectiva constructivista”. En *Perspectivas en la Teoría de Sistemas*. Coordinado por Santiago Ramírez. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1994.
- García-Guerrero, Manuel, María Fernanda Ruiz-Villegas, Miriam Guadalupe Báez-Hernández, Azucena Cordero-Rodriguez, Augusto Martinez-Rocha, Felipe de Jesús Cerda-Hernández, José Eduardo González-Reyes, Francisco Javier Sotelo-Pulido, Diana Elizabeth García-Rodríguez. “Manifiesto de la ciencia recreativa”, *Journal of Science Communication – América Latina* 05, núm. 02, (2022). <https://doi.org/10.22323/3.05020801>.
- García, Rolando. *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. España: Gedisa, 2000.
- García, Rolando. *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. España: Gedisa, 2006.
- Hernández, Gerardo. “¿Por qué le tememos a las matemáticas y cómo afecta nuestro futuro evitarlas?”. *El Economista*, 10 de agosto, 2021. <https://www.economista.com.mx/capitalhumano/Por-que-le-tememos-a-las-matematicas-y-como-afecta-nuestro-futuro-evitarlas-20210809-0116.html>.
- Jacobson, Michael y Uri Wilensky. “Complex Systems in Education: Scientific and Educational Importance and Implications for the Learning Sciences”, *Journal of the Learning Sciences* 15, núm. 1 (2006).

- McGregor, Sue L. T. “Emerging from the Deep: Complexity, Emergent Pedagogy and Deep Learning”, *Northeast Journal of Complex Systems (NEJCS)* 2, núm. 1 (2020). <https://orb.binghamton.edu/nejcs/vol2/iss1/>.
- Moreno, Ignacio. “Redes, heterarquía y estética: reflexiones desde las Ciencias de la Complejidad y las Humanidades Digitales”, *unodiverso, Revista de Complejidad en Ciencias Sociales y Humanidades* 3, núm. 3 (2023).
- Shiffman, Daniel. “Cellular Automata”. En *The Nature of Code*. San Francisco: No Starch Press® Inc., 2012. <https://natureofcode.com/cellular-automata/>.
- Universidad de Papaloapan. “Plan de Estudios de la Ingeniería en Computación”, *Sitio web de UNPA*, Universidad del Papaloapan. [https://www.unpa.edu.mx/ing\\_computacion.html#plan](https://www.unpa.edu.mx/ing_computacion.html#plan).
- Von Bertalanffy, Ludwig. *Teoría General de los Sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México: Fondo de Cultura Económica, 1989.
- Wilkinson, Leland. *The Grammar of Graphics*. USA: Springer Science & Business Media, 2005.