

# Desarrollando la competencia de Pensamiento sistémico usando Modelación Matemática en los futuros ingenieros

Ruth Rodríguez Gallegos, Dra.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico de Monterrey, México, [ruthrdz@tec.mx](mailto:ruthrdz@tec.mx)

*Resumen— El siguiente escrito es un avance de trabajo en progreso el cual pretende retomar proyectos del 2020 sobre la importancia de desarrollar el pensamiento complejo (sistémico) en los alumnos de ingeniería en una universidad privada del noreste de México. Se presenta una propuesta de trabajo que se implementó sobre diseño de actividades en clase, implementación, monitoreo y seguimiento para poder “medir” el desarrollo de una competencia como pensamiento sistémico. En este análisis de los entregables de los alumnos se discutirá sobre los usos de las representaciones de los estudiantes en la clase, sobre la importancia de las bases matemáticas y sobre la interpretación y construcción de modelos.*

*Palabras Claves—Matemáticas, Modelación, Complejidad, Simulación, Pensamiento Sistémico.*

*Abstract- The following writing is an advance of work in progress which aims to resume projects in 2020 on the importance of developing systemic thinking in engineering students at a private university in northeast Mexico. A work proposal that is being implemented on the design of classroom activities, implementation, monitoring and follow-up is presented in order to "measure" the development of a competence as system thinking. In this analysis of the deliverables of the students, the uses of the representations of the students in the class will be discussed, on the importance of the mathematical bases and on the interpretation and construction of models.*

*Keywords— Mathematics, Modeling, Complexity, Simulation, Systemic Thinking.*

## I. INTRODUCCIÓN

El presente escrito tiene como intención el mostrar la importancia de repensar la enseñanza de las matemáticas en el sistema educativo actual, con la intención de poner en la mesa de discusión la necesidad de ampliar el tipo de problemas que suelen ser presentados y resueltos en el sistema educativo. En particular, nos centramos en la necesidad de modelar problemas complejos en una institución privada del noreste de México. En una clase de Ecuaciones Diferenciales para futuros ingenieros presentamos la necesidad de ampliar el tipo de problemas que deben ser presentados en clase, con el uso efectivo de tecnología (VENSIM) y con un enfoque de modelación.

Desde nuestra perspectiva, consideramos muy valioso el tener la oportunidad de incluir en el sistema educativo y en particular en un programa de ingeniería un enfoque de modelación más abierto, más real. En particular, ya hemos reportado que diversas iniciativas internacionales como la OCDE [1], la Sociedad de Formación de Ingenieros de la Comunidad Europea (SEFI) [2] y diversos reportes como el de Bourn and Neal [3] señalan de manera reiterada la importancia de desarrollar competencias de tipo genérico que incluyen entre otras cuestiones el pensamiento holístico o sistémico; crítico, de aplicaciones. En particular, en el reporte de Bourn & Neal señalan que la ingeniería de sistemas y el análisis es cada vez más común en los sistemas complejos. Y definen dentro de las competencias genéricas a desarrollar en los futuros ingenieros al pensamiento holístico. Los autores precisan en el reporte que este pensamiento holístico no solo requiere entender complejidades en los sistemas ingenieriles pero también la relación entre los sistemas ingenieriles y su contexto. Ellos citan en Paul Jobbit que establece que “un punto de vista más sistémico/holístico en el mundo es ahora requerido” (p. 8). Aunque nosotros reconocemos que efectivamente el pensamiento holístico y el sistémico no son sinónimos en el reporte de Bourn & Neal se trata ligeramente como tales. Ellos reconocen diversas formas de lidiar con el pensamiento holístico, mencionan diversas perspectivas, entre ellas las de Negocios y aprendizaje organización (entre otras varias) y ahí se menciona el trabajo de Peter Senge el cual será retomado en nuestro enfoque. Reconocemos que existen diversas miradas para lidiar con la

complejidad del mundo actual y el pensamiento sistémico desde el enfoque de Senge es una manera de hacerlo. Algunas de sus ideas germinales serán retomadas en este trabajo.

En particular señalamos los esfuerzos que se han hecho de diversos investigadores en educación que señalan la importancia de considerar esta parte, particularmente los trabajos de Bourguet [4]; Fisher [5]; Rodriguez & Bourguet [6,7] y Caron [8]; en los cuales nos hablan de la importancia de modelar problemas en esta dirección. Igualmente, desde la modelación matemática desde perfiles de expertos, Gesherson [9] nos habla de la importancia de considerar diversos enfoques desde para lidiar con problemas complejos tales como violencia en las calles, robo de autos y/o gasolina, inseguridad, cambio climático, etc. Sin duda alguna estos enfoques son de gran valor para la formación de los estudiantes.

Por otro lado, la literatura habla de la necesidad de cambios importantes en el currículo, como los establecidos por English [10] donde se precisa justamente la importancia de modificar de manera importante los currículos de manera más integrada. Además, la posibilidad de poder incluir en los programas educativos actuales cuestiones de este estilo. En particular deseamos precisar sobre el Tecnológico de Monterrey [11], la institución que es el marco de este estudio, se precisa que es importante desarrollar competencias como *Razonamiento para enfrentar la complejidad* entre otras tantas.



Fig. 1 Competencias transversales a desarrollar en el Modelo Tec 21 [11].

Además, se percibe la importancia de esta competencia como al menos 5 sub-competencias entre las que se encuentran el Pensamiento Científico, Sistémico, Crítico. Si vemos con atención en la siguiente figura, podemos ver como la idea de desarrollar Pensamiento Sistémico no es diferente a la idea de Bourn & Neal [3] sobre que la escuela debe igualmente desarrollar ideas que permitan a los alumnos el estudiar problemas más complejos, más abiertos, más auténticos.

Se concibe entonces a esta competencia macro dividida en 5 subcompetencias:

- a) Pensamiento Sistémico
- b) Pensamiento Científico
- c) Pensamiento Crítico
- d) Pensamiento Divergente
- e) Pensamiento Multicultural

La sub-competencia de Pensamiento Sistémico (la primera de ellas que es la que nos interesa en este estudio) se concibe en términos de 3 niveles de dominio. Esta competencia nos interesa en particular debido a que por estudios previos que comentamos anteriormente es posible desarrollar ideas valiosas de modelación matemática a través de esta idea de pensamiento holístico o sistémico

desde el punto de vista de Dinámica de Sistemas. Esta competencia transversal se conceptualiza su avance en estos tres niveles de dominio que precisamos a continuación:

**CS. RAZONAMIENTO PARA LA COMPLEJIDAD**  
Integra diferentes tipos de razonamientos en el análisis, síntesis y solución de problemas, con disposición al aprendizaje continuo.

	NIVEL A	NIVEL B	NIVEL C
<b>5.1 Pensamiento sistémico</b>  <i>Análisis problemáticas, con una visión integrada, desde la inter y la transdisciplinariedad, concibiendo la realidad como un conjunto de sistemas interconectados.</i>	Aborda problemáticas reales o simuladas, considerando la conexión de las diferentes variables y dimensiones. Para ello utiliza modelos básicos de interrelación que le permitan comprender y asociar las condicionantes que definen la situación o problema.	Aborda problemáticas reales o simuladas entendiendo la realidad como un conjunto de sistemas interconectados, a través de una visión integrada en un contexto determinado. Para ello explora diferentes modelos sistémicos que le permitan jerarquizar las variables que definen las vías de innovación.	Aborda problemáticas reales o simuladas como un conjunto de sistemas interconectados, proponiendo escenarios futuros con una visión estratégica e integrada. Para ello utiliza modelos sistémicos que le permitan jerarquizar las variables que definen las vías de innovación, plantea escenarios futuros y propone las estrategias específicas a desarrollar.

Fig. 2 Niveles de dominio de Pensamiento Sistémico en el Modelo Tec 21 [11].

Con la reflexión inicial sobre la importancia de ampliar el espectro de la implementación de la modelación matemática en nivel universitario, esperando que bajo estas ideas ahora es propicio el iniciar la incorporación de nuevos enfoques y nuevas representaciones que permitan el modelar fenómenos. Desde Rodriguez & Bourguet [6,7] exploramos la idea de utilizar una técnica de modelación llamada Dinámica de Sistemas para modelar fenómenos más complejos, la mayoría de naturaleza social, ambiental, humano. Describiremos en la siguiente sección más sobre esta técnica y otros trabajos alrededor de estos.

## II. DISEÑO DE ACTIVIDADES

Se utilizarán como base inicial de trabajo con los alumnos de ingeniería en cuestión las actividades que fueron presentadas previamente en el año 2015 por Rodriguez & Bourguet [6,7].

La población a la que van dirigidas estas actividades es a los estudiantes que toman el curso de Ecuaciones Diferenciales (ED) en tercer o cuarto semestre (segundo año). Generalmente los estudiantes llevan la materia y como parte de la misma deben hacer un proyecto sobre el uso o aplicación de las ED en otros ámbitos. Este rubro se considera un proyecto final de la materia, que se entrega por los alumnos al finalizar el curso (agosto-diciembre 2020) y el cual tiene un valor del 10% de la nota final del curso.

Previo a la realización del proyecto que en esta ocasión estará orientado a desarrollar en ellos la competencia transversal de Pensamiento para la complejidad como la definimos en la sección anterior.

La muestra de alumnos que participaron fueron 28 alumnos de un grupo 1 y 11 alumnos del grupo 2. 39 alumnos en total. Se realizaron las actividades en equipos de 3 personas, por lo que se analizarán 9 equipos para el grupo 1 y 4 equipos para el grupos 2. 13 equipos en total. Se decidió que la implementación fuera de 2 etapas para el grupo 1 y de 3 etapas para el grupo 2. Es importante señalar que el grupo 2 es un grupos denominado HONORS donde los alumnos tienen un promedio por encima de 90.0 (en una escala de 1 al 100), esto es, son alumnos sobresalientes.

En esta ocasión, se decidió emplear la siguiente metodología:

- a) Etapa 1/sesión 1: Permitir que los alumnos conozcan la visión de Pensamiento Sistémico y el uso de un lenguaje como Dinámica de Sistemas (DS) asociado. Con ello la necesidad de hacer uso de un software de simulación como Vensim. Esto es usando al menos 1 sesión de hora y media en formato presencial y se completó con apoyo de 2 videos en lo virtual. En esta etapa ellos debían generar sus primeros modelos con ayuda del software.
- b) Etapa 2/sesión 2: Guiar a los alumnos a que construyan un modelo por ellos mismo con base a un modelo previamente estudiado en la clase de Ecuaciones Diferenciales sobre Mezclas. Ese reto debían hacerlo en la sesión, ellos emplearon alrededor de 45 minutos en hacer su propia construcción en el equipo. Esta fase debió durar máximo 90 minutos pero la verdad es que el tiempo se agotó en la clase, hubo una retroalimentación de su primer modelo usando un video y en la sesión siguiente se destinó tiempo para “ajustar su modelo” después de un diálogo con ellos.

- c) Etapa 3/sección 3: En esta tercera sesión al grupo 1 le llevó toda la sesión corregir su primer modelo, enriquecerlo. Para uno de los grupos (el no. 2) se les pidió que seleccionen un problema abierto de naturaleza compleja para que lo puedan representar usando DS y Vensim. Este trabajo es en equipos de máximo 3 personas. Un ejemplo de esto es el caso que diseñamos en el 2015 (ver Rodríguez & Bourguet). En el grupo 2 HONORS se lograron resultados muy interesantes respecto a esta actividad. Para el grupo 1 se les pidió hacerlo de manera voluntaria, solo 3 equipos lo hicieron. Se discutirá sobre esto en los resultados.
- d) Sesión 4: para el grupo 1, en la última sesión se discutieron los resultados de su problema analizado, 2 de los 4 equipos hicieron un excelente trabajo; pero los 4 equipos se desempeñaron de manera adecuada y sus procesos permiten enriquecer mucho el proceso de análisis para este trabajo. Se solicita la realización de videos de parte de los alumnos así como un reporte en escrito para que concluyan su postura sobre el tema en cuestión. No se espera un resultado único. Los dos grupos hicieron este entregable en tiempo y forma.

Finalmente desde el punto de vista del investigador se espera que a través de una rúbrica que se tienen ya de Pensamiento Sistémico y otros instrumentos que se contruyan el poder “medir” cualitativamente en una primera instancia sobre el desarrollo (o no) de componentes esenciales de la competencia transversal de pensamiento para la complejidad.

### III. PRIMERAS CONCLUSIONES

Consideramos muy valioso el que nos permitan presentar este trabajo en el congreso. En estudios previos ya hemos reportado la riqueza del punto de vista de aprendizaje de los alumnos de incorporar esta metodología en la clase, sobre todo que el enfoque de Dinámica de Sistemas en una clase avanzada de Matemáticas como la de Ecuaciones

Diferenciales permite a los alumnos darles un significado importante al objeto matemático Ecuación Diferencial. Esta nueva representación visual le permitirá el que se pueda “ver” de otras maneras las acumulaciones (integrales) y razones de cambio (flujos) dentro del concepto ED pero sobre todo permite ver su uso (y utilidad) para modelar fenómenos diversos de naturaleza compleja, algunos de gran valor para el alumno ya que es diferente a los ejemplos de aplicaciones que tradicionalmente se ven en la clase.

### IV. TRABAJO FUTURO (EN PROGRESO)

Este trabajo se presenta en la categoría de trabajo en progreso ya que se está mejorando la rúbrica de Pensamiento Sistémico a partir de una ya existente en el idioma inglés (la traducción al español no es tarea sencilla). Además se están analizando a detalle la implementación de en abril-mayo 2020 la última versión con los alumnos en el semestre en curso Febrero-Junio 2020 aunque se cuentan con datos de semestres anteriores en cursos en modalidad Honors.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Writing Labs del Tecnológico de Monterrey el apoyo académico y financiero que pueda otorgar para que este trabajo se presente en el evento.

### REFERENCIAS

- [1] Organization for Economic Cooperation and Development [OCDE]. “PISA 2009 Results. What Students Know and Can Do: Students Performance in Reading, Mathematics and Science”, 2009. Retrieved for <http://www.oecd.org/pisa/keyfindings/pisa2009keyfindings.htm>
- [2] Bourn, D. & Neal, I., “The Global Engineer. Incorporating global skills within UK Higher Education of Engineers. Engineers against Poverty”. Leading Education and Social Research. Institute of Education. University of London, 2008.
- [3] Société Européenne pour la Formation des Ingénieurs. [SEFI], 23 de julio de 2016. Obtenido de <http://www.sefi.be/>
- [4] Bourguet, R., “Desarrollo de Pensamiento Sistémico usando ecuaciones diferenciales y dinámica de sistemas”, 2005. En Reunión de Intercambio de Experiencias en Estudios sobre Educación del Tecnológico de Monterrey (RIE). Monterrey. Recuperado en: <http://www.mty.itesm.mx/rectoria/dda/rieec/>
- [5] Fisher, D. M., “Everybody thinking differently”: K-12 is a leverage point. *System Dynamics Review*, 27, 2011. 394.411. DOI: 10.1002/sdr.473
- [6] Rodríguez, R. y Bourguet, R. “Diseño interdisciplinario de Modelación Dinámica usando Ecuaciones Diferenciales y Simulación”. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Education (LACCEI)

- 2014). Guayaquil, Ecuador, 2014. <http://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/index.htm>
- [7] Rodríguez, R., y Bourguet, R., “Building bridges between Mathematics and Engineering: Modeling practices identified through Differential Equations and Simulation”. American Society of Engineering Education (ASEE) Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings. Atlanta, Estados Unidos, 2015.
- [8] Caron, F. “Approaches to Investigating Complex Dynamical Systems”. En G. A. Stillman and J. P. Brown (eds.), Lines of Inquiry in Mathematical Modelling Research in Education, ICME-13 Monographs, 2019. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14931-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14931-4_5)
- [9] Gershenson, C., “Harnessing the complexity of education with information technology”. Complexity, 20(5), 13-16, 2015. <https://doi.org/10.1002/cplx.21536>
- [10] English, L., “Promoting interdisciplinarity through mathematical modelling”. ZDM Mathematics Education, 41, 161–181, 2016. DOI 10.1007/s11858-008-0106-z
- [11] Tecnológico de Monterrey, “Modelo educativo Tec 21”, 2018.