

Diseño interdisciplinario de Modelación Dinámica usando Ecuaciones Diferenciales y Simulación

Ruth Rodríguez

Tecnológico de Monterrey, Monterrey, Nuevo León, México

Rafael Bourguet

Tecnológico de Monterrey, Monterrey, Nuevo León, México

ABSTRACT

This paper presents reflections about a collaborative work for design and development of a graduate course entitled " Modeling of Systems Dynamics" , which are based on differential equations and simulation . The main contribution of the design of the course is the combination of building experience truth, trust , and modeling of complex systems through mathematical foundations of dynamic systems simulation language and graphic system dynamics , respectively. Results are discussed in the light of this new course proposal , the main interdependencies between two undergraduate courses " Differential Equations " and " System Dynamics " which in a interdisciplinary and interdepartmental since a specific perspective helps to shape of the new proposal of the postgraduate course . It is presented the course structure , some results based on project findings and the discussion of results observed in the presentation of final course projects.

Keywords: systems dynamics, differential equations, modeling, simulation

RESUMEN

Este escrito presenta reflexiones sobre un trabajo colegiado para el diseño y desarrollo de un curso de posgrado titulado "Modelación dinámica de sistemas", los cuales están basados en ecuaciones diferenciales y simulación. La principal aportación del diseño es la combinación entre la construcción de experiencia de verdad, confianza, y la modelación de sistemas complejos, a través de los fundamentos matemáticos de sistemas dinámicos y lenguaje gráfico de simulación de Dinámica de Sistemas, respectivamente. Se discuten, a la luz de esta nueva propuesta de curso, las interdependencias principales entre dos cursos de profesional "Ecuaciones diferenciales" y "Dinámica de Sistemas" los cuales de manera interdisciplinaria e interdepartamental dan forma a la nueva propuesta del curso de posgrado. Se presenta la estructura del curso basada en proyecto y se presentan las conclusiones y discusión de resultados observados en la presentación de proyectos finales del curso.

Palabras claves: pensamiento sistémico, ecuaciones diferenciales, modelación, simulación

1. INTRODUCCIÓN

Este escrito pretende compartir una experiencia de trabajo colegiado que se realizó durante un año en una institución de educación privada del noreste de México entre dos profesores del área de Profesional que imparten dos materias en principio aparentemente distintas: el curso de Ecuaciones Diferenciales y Dinámica de Sistemas. La interacción tiene lugar en el marco de un proyecto institucional e interdepartamental que cuenta además con un fondo de financiamiento interno (fondo NOVUS). Dicha interacción permite el encontrar puntos en común en dos disciplinas y sobre todo el reconocer la ventaja de re-plantear o repensar la enseñanza de los temas en ambas disciplinas, aprovechando las potencialidades de cada una de las materias. A continuación se planteará la problemática de ambas materias y la necesidad de enriquecer su enseñanza y aprendizaje.

1.1 SOBRE LA NECESIDAD DE FORMAR UN INGENIERO Y PROFESIONISTA GLOBAL

La necesidad de globalización que ha sido adoptada por la comunidad de ingenieros resulta evidente dado el hecho de que ésta es una de las profesiones más portátil de acuerdo a la comunidad de Educación de la Ingeniería; por lo que la globalización parece ser práctica y necesaria (Vohra, Kasuba & Vohra, 2006). Muchos especialistas han predicho que la innovación será el principal paradigma para mantener el mundo competitivo. Los creadores de las innovaciones (principalmente ingenieros) deben ser capaces de adaptar su formación para poder conocer las necesidades globales y los retos que enfrenta la sociedad actualmente. Jhori (2006) afirma que existe un vacío en el estudio y la comprensión de las prácticas de la ingeniería y de poder trabajar en el reto de trasladar este conocimiento en el currículo. Se ha estudiado poco las prácticas en el trabajo y cómo los ingenieros se desarrollan en el mismo. Existe además un interés creciente de introducir aspectos globales de ingeniería en el currículo, lo cual ha llevado a desarrollar nuevos cursos donde colaboran estudiantes de diversas naciones a través del uso de tecnología. Este autor señala que hace falta que el entendimiento de la ingeniería global que ha sido desarrollado sea traducido en pedagogías exitosas para preparar a los futuros ingenieros globales. Una de las habilidades más relevantes a desarrollar por los futuros ingenieros han sido las colaborativas. La dispersión geográfica parece añadir complejidad al proceso ya que en muchas veces el ingeniero deberá trabajar con personas de diversas culturas en distintos lugares compartiendo conocimiento experiencial a través del uso adecuado de tecnología. Además Jhori (2006) afirma que los ingenieros exitosos deben ser capaces de usar las herramientas que tienen en la mano, especialmente tecnología, para desarrollar prácticas que abarquen diversas fronteras. La tecnología a menudo juega un papel de iniciador y excusa para construir prácticas comunes. En términos de enseñanza y preparación de los alumnos a un mundo globalizado, ciertas habilidades concretas aparecen, por ejemplo, diversos autores parecen estar de acuerdo en que la mejor solución sea una combinación de experiencias curriculares y extra-curriculares. Jhori (2006) concluye que una de las habilidades específicas que los alumnos necesitan al aprender son el trabajo efectivo con tecnología; este autor muestra que en aprendizaje de las ciencias se deben estudiar las estrategias de trabajo desarrolladas por los ingenieros para poder enseñar éstas y preparar a los estudiantes a un mundo global. Por otro lado, Bourn & Neal (2008) en un trabajo similar en Reino Unido se enfocan en estudiar la dimensión global en educación de la Ingeniería, entendiendo ésta última como la suma de tópicos sociales, políticos, tecnológicos, culturales y ambientales. Ellos desarrollan un marco referencial para incorporar la dimensión global en la enseñanza de los estudiantes y al igual que el autor anterior señala que ésta puede ser estudiada incrustada en el currículo, con aprendizaje extra-curricular y a través de estrategias innovadoras de colaboración con compañías internacionales. Por ejemplo, Bourn & Neal (2008) proponen que algunas habilidades genéricas son el pensamiento holístico (sistémico), la indagación crítica, el análisis y la reflexión; el aprendizaje activo y la aplicación práctica; la comunicación y habilidades de escucha así como la empatía y auto-conciencia. Finalmente, estos autores afirman que una forma de identificar oportunidades para insertar la dimensión global en el currículo de los ingenieros es a través de pedagogías innovadoras, trabajo colaborativo, habilidades de administración e innovación, etc. Es importante mencionar que una de las habilidades señaladas por los empleadores importante a desarrollar por los futuros profesionistas es el instinto de resolver problemas y se desea resaltar el hecho de que existen diversas iniciativas en Educación Superior que han participado en el debate de las habilidades globales, por ejemplo, STEM (Science, Technology, Education & Engineering; Ciencia, Tecnología, Educación e Ingeniería).

En particular, el diseño del curso que se desea presentar en este escrito está diseñado y basado en una idea cercana a la anteriormente expuesta en el hecho de poner en juego fuertemente pretende resaltar en este artículo es que éste curso en particular, obedece a aportar en la dirección de preparar eventualmente de manera más global y holística a los futuros ingenieros que estudian los cursos de Ecuaciones Diferenciales y Dinámica de Sistemas en pregrado y Modelación Dinámica de Sistemas en posgrado en una universidad privada del noreste de México.

Consideramos además que esta propuesta está alineada al modelo educativo de la institución donde se realiza esta experiencia, a saber, el Modelo Tec21 (Tecnológico de Monterrey, 2014a) en el sentido de que permite poner en juego el desarrollo de competencias importantes en los alumnos como la resolución de problemas, uso de tecnología apropiada; pensamiento crítico; manejo de la incertidumbre y complejidad, visión holística además que permite poner en evidencia la importancia de diseñar, implementar y evaluar actividades retadoras e interactivas gracias al trabajo interdisciplinario, uno de los pilares fundamentales en este modelo Tec21 (Tecnológico de Monterrey, 2014a). Además invita a los profesores interesados en implementar dicho curso a adentrarse a la

innovación educativa y a enriquecer su desempeño docente gracias al trabajo colegiado interdisciplinario.

2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

2.1 SOBRE EL CURSO DE ECUACIONES DIFERENCIALES A NIVEL PROFESIONAL

Ecuaciones Diferenciales (ED, MA2010) es una materia de Matemáticas que culmina la mayor parte del tiempo el tronco básico de esta ciencia de futuros ingenieros. Se encuentra en el tercer o cuarto semestre de la carrera de 22 ingenierías diferentes (dependiendo de la carrera) y el objetivo del curso declarado en el programa oficial es:

Al finalizar el curso el alumno será capaz de identificar y comprender la ecuación diferencial como concepto matemático así como modelo para estudiar determinados fenómenos del área de ingeniería; resolver las ecuaciones diferenciales a través de diferentes métodos de solución así como dar significado e interpretar la solución en términos del problema analizado (Tecnológico de Monterrey, 2014b).

Desde tiempo atrás, la problemática en la enseñanza de las Ecuaciones Diferenciales. Por un lado, radica en la falta de comprensión por parte de los alumnos de las ideas fundamentales alrededor de esta disciplina. Por otro lado, el contrario, muchas veces se reduce el curso a la enseñanza de una serie de prácticas procedimentales de métodos analíticos de resolución de estas ED dejando a un lado otras formas de resolución de las mismas.

Investigaciones previas denotan que desde la década de los 90's, la reforma a la enseñanza de las ecuaciones diferenciales enfatizó el cambio de la preponderancia de métodos analíticos sobre los métodos cualitativos y numéricos. Si bien es cierto existen casos de éxito documentados en México en los últimos años y propuestas innovadoras sobre su enseñanza a nivel internacional (Blanchard, 1994, 2006; Kallaher, 1999) así como algunas investigaciones al respecto, es necesario un mayor cambio en lo que se vive en las aulas, en particular en el área de ingeniería.

El curso por estar dirigido a ingenieros presenta la mayor parte del tiempo una mayor preponderancia en la modelación de fenómenos de naturaleza mecánica, eléctrica, hidráulica y térmica y considera el tratar muy pocos y de manera muy general algunos fenómenos de naturaleza social. Consideramos que el retomar un enfoque sistémico puede ser de mucha utilidad en la modelación y simulación de estos contextos sociales. Ejemplos como Fisher (1997, 2001, 2005) proponen desde tiempo atrás el retomar este enfoque sistémico desde preparatoria incluso y propuestas como la realizada por Blanchard (1994, 2006) son un ejemplo de un trabajo que pretende desde esa época el considerar elementos propios de la Dinámica de Sistemas a la enseñanza de Ecuaciones Diferenciales. En particular, Blanchard enfatiza mucho el uso de métodos cualitativos para explorar a la ED en sí y sobre todo el uso de software como simuladores para analizar las soluciones de la misma. En la propuesta de Fisher (1997) ella propone el uso de un software como Stella sin embargo como veremos más adelante es posible hacer uso de otros softwares de simulación dinámica como iThink o Vensim. Recientemente, han surgido otras propuestas interesantes al respecto de relacionar la enseñanza de las Ecuaciones Diferenciales con Dinámica de Sistemas (Noonburg, 2014).

2.2 SOBRE EL CURSO DE DINAMICA DE SISTEMAS A NIVEL PROFESIONAL

Dinámica de Sistemas (DS, IN2005) es una materia del séptimo semestre que va dirigida a dos carreras en particular: Ingeniero Industrial y de Sistemas (IIS) e Ingeniero en Negocios y Tecnologías de Información (INT). El objetivo de la misma, declarado en el programa oficial es:

Al finalizar este curso el alumno será capaz de utilizar los conceptos y herramientas básicas del pensamiento sistémico y de dinámica de sistemas para estudiar un proceso organizacional o social a través del desarrollo, implementación, validación y mantenimiento de un modelo de dinámica de sistemas (Tecnológico de Monterrey, 2014c, el subrayado es nuestro).

La problemática observada en el curso de Dinámica de Sistemas es el escepticismo de los usuarios de los modelos construidos en que los comportamientos sociales no pueden ser capturados con herramientas deterministas como lo son las trayectorias en las soluciones de las ED. Asimismo, la falta de práctica y experiencia para representar el conocimiento tácito que existe en los expertos de negocios y administración especialmente a través de técnicas de

modelación. La experiencia de estas personas es que no utilizan matemáticas sofisticadas (Sterman, 2000; Bourguet 2005) para realizar sus tomas de decisiones, saben actuar apropiadamente en las situaciones sin necesariamente entender el cómo o por qué empiezan a actuar en la manera en que lo hacen por lo que se presume que no se requiere de soporte de matemáticas tales como las Ecuaciones Diferenciales. Sin embargo, la historia ha mostrado que las ED son una excelente herramienta para describir cambios en el tiempo. Asimismo, la búsqueda de generalización de fenómenos dinámicos debería de ser expresada de manera rigurosa a través de esta matemática. Sin embargo, los mismos expertos de DS promueven el no usarse. Los beneficios entonces de usar ED en la clase de DS se observarán no en la solución de problemas de los tomadores de decisión o diseñadores de política sino que se apreciarán y valorarán en los congresos científicos donde se busca descubrir los fundamentos que rigen los fenómenos bajo observación, es decir, la matemática permitirá comunicar sin ambigüedad los hallazgos encontrados en los comportamientos de los fenómenos (Bourguet y Pérez, 2003, Bourguet, 2005).

3 METODOLOGÍA

La metodología propuesta para el diseño interdisciplinario del curso constó de 7 etapas:

1. Selección del curso a diseñar.
2. Asistencia a clase como alumnos por parte de los profesores participantes.
3. Diagnóstico de la interacción de los dos cursos en área comunes y de oportunidad.
4. Generación de opciones didácticas para el diseño.
5. Definición del criterio de selección de la opción.
6. Selección de la opción didáctica.
7. Desarrollo del diseño interdisciplinario del curso.

A continuación se describen las actividades realizadas en cada una de las etapas para llegar finalmente a mostrar el diseño simplificado del curso.

3.1 DISEÑO INTERDISCIPLINARIO DEL CURSO

3.1.1 Selección del curso a diseñar.

Modelación dinámica de sistemas (MD TI5024) fue el curso seleccionado. Curso trimestral considerado como uno de los cursos básicos de la Maestría en Administración en Tecnologías de Información (MTI). Ocurre bajo demanda de la directora del programa como respuesta a la necesidad de los alumnos de herramientas matemáticas para la construcción de los modelos de simulación en los proyectos finales de este curso. El objetivo del curso, declarado en el programa oficial, es:

“El alumno será capaz de obtener habilidades para: reconocer patrones de comportamiento de fenómenos complejos; mapear la causalidad de los fenómenos en diagramas de influencia; entender la dinámica de los fenómenos complejos en las organizaciones; modelar procesos complejos de toma de decisiones; describir escenarios de estrategias dinámicas; modelar la formulación y los efectos de la implementación de estrategias. Se trabajará con una herramienta de simulación del tipo iThink y varios paquetes de apoyo a la modelación dinámica de situaciones en ambientes de alta complejidad y variabilidad.” (Tecnológico de Monterrey, 2014c).

3.1.2 Asistencia a clase como alumno por los profesores participantes.

Cada profesor participó en el rol de un estudiante oyente en el curso de su colega contraparte durante el semestre completo enero-mayo 2013. Se participó en las actividades de aprendizaje con los alumnos en equipo en el aula, se interactuó y participó con los materiales y recursos de las actividades. Se omitió la presentación de exámenes y de tareas.

3.1.3 Diagnóstico de la interacción de los dos cursos en área comunes y de oportunidad.

Para diagnosticar la interacción entre los dos cursos, durante el semestre enero-mayo 2013, se llevaron a cabo 13 sesiones de trabajo semanales con duración promedio de 2 horas a la semana. Se compartieron observaciones en

el con el fin de identificar áreas en común y de oportunidad en la interacción de las dos disciplinas. Estas áreas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Áreas en común y de oportunidad de ED y DS

Puntos en común de ED y DS	Área de oportunidad en la interacción ED y DS
Interés de ambas materias por la modelación de fenómenos de la naturaleza y de diversa naturaleza.	En el curso de ED se observa en general una gama de modelos generales y prototipos de naturaleza variada (sociales, biológicos, económicos, hidráulicos, térmicos, mecánicos, eléctricos); éstos son en ocasiones ya dados por los problemas de texto y en algunas ocasiones explicados por el maestro en clase. La clase de DS tiene como objetivo el modelar fenómenos de naturaleza social y/o dinámica de negocios y el tipo de problemas tratadas son más “complejos” o “abiertos”; la técnica propuesta justo propone el reducir la complejidad de los mismos a través del entendimiento mismo del fenómeno a través de distintas formas de visualizar los factores en juego.
Ambas materias (ED y DS) se interesan por el estudio de fenómenos de naturaleza variada.	En el curso de ED se observa muy poco o nulo abordaje de fenómenos de naturaleza social o de dinámica de negocios; mientras que estos si constituyen una gran parte de los fenómenos estudiados a detalle en el curso de DS.
El interés de ambas materias por el uso de software para modelar.	En el curso de ED se observa en ocasiones un uso bajo o moderado de software de cálculo simbólico como Maple o Mathematica (ambos con licencia); así como algunos simuladores libres ya pre-determinados en la red (Recursos Educativos Abiertos); mientras que en DS se observa un amplio uso del software de simulación Vensim (versión educativa PLE libre) que permite construir diversos modelos a través de un lenguaje gráfico accesible al usuario. Fácil acceso y portabilidad al usuario.
Ambos cursos abordan el análisis cualitativo como medio de entender el fenómeno.	En el curso de ED se observa poco uso del análisis cualitativo como método de solución de ED, en ocasiones se trata en clase el tema de campos pendientes o isóclinas. Por otro lado, gran parte del trabajo en DS radica en este tipo de estudio sobre fenómenos complejos. El uso mismo del software como Vensim apoya a este tipo de análisis. Se usan además diagramas causales y posteriormente diagramas de Forrester los cuales son simulados posteriormente en un software como Vensim.
Se trata la Resolución matemática	En el curso de ED, el énfasis radica justamente en el estudio de la estructura matemática ya que esto constituye el punto central del curso. En DS, se observa poco la estructura matemática que subyace al diagrama de Forrester de manera explícita; mucho menos su resolución por métodos analíticos, ya que en su mayoría tratarán de sistemas no lineales. Gracias al software se obtienen las gráficas de solución de la ED (en ocasiones los comportamientos que interesa analizar). Se observa aquí una posibilidad de enfatizar más la estructura matemática detrás de los diagramas de Forrester vía Vensim; y la necesidad de una mayor fundamentación de esta parte matemática.
El uso de métodos numéricos como solución de la ED	En ED, se debe presentar al menos un método numérico de resolución, generalmente Euler. Se presenta su justificación y forma de operar. En DS, se observa poco énfasis en la fundamentación de los métodos numéricos usados por Vensim (Euler y Runge Kutta 4to orden). Se observa la posibilidad de apoyarse en la fundamentación matemático de ambos métodos.

3.1.4 Generación de opciones didácticas de diseño.

Dos opciones fueron consideradas: (1) un modelo análisis-reduccionista y (2) modelo síntesis-expansionista. El modelo análisis-reduccionista considera un método convencional de enseñanza/aprendizaje con base en el estudio de objetos de estudio de manera incremental e integrando dichos entendimientos al final del curso. El modelo síntesis-expansionista considera el estudio de propiedades emergentes por la interacción de las todas las partes del curso en cada sesión, transitando por niveles principiante, intermedio y avanzado. El énfasis fue mantener la visión integrada de los elementos del curso en cada sesión, transitando de situaciones sencillas hasta situaciones más elaboradas o complejas.

3.1.5 Definición del criterio de selección de la opción.

El criterio de selección fue: fortalecer un pensamiento sistémico donde el propósito de cada sesión fuera determinado por los entregables de avance de proyecto. Es decir, cada sesión visitaría todos los elementos del curso con énfasis al entregable próximo de proyecto.

3.1.6 Selección de la opción didáctica.

Se decidió por el modelo síntesis-expansionista con base en el criterio de selección.

3.1.7 Diseño y desarrollo interdisciplinario del curso (contenido y calendario)

3.1.7.1 Contenido del curso

Se respetó y mantuvo el contenido del programa analítico oficial:

1. Fundamentos del pensamiento sistémico
2. Antecedentes y supuestos de la Dinámica de sistemas
3. Herramientas para manejar realimentación y simulación
 - a. Construcción de diagrama de influencia o diagrama causa-efecto
 - b. Construcción de diagrama de bloque o diagrama de Forrester
4. Metodología y desarrollo de proyectos de Dinámica de Sistemas
 - a. Articulación del problema
 - b. Construcción de hipótesis dinámica
 - c. Formulación de modelo simulación
 - d. Prueba del modelo
 - e. Diseño de políticas
5. Usos de la dinámica de sistemas para implementación de estrategias, soporte a la toma de decisiones y desarrollos de aprendizajes en sistemas complejos de negocio.

3.1.7.2 Calendario de actividades

El calendario de actividades usado en el trimestre Septiembre-Diciembre 2013 y el trimestre abril-julio 2014 se muestra en la Tabla 2. Donde cada actividad de aprendizaje visita todos los elementos descritos arriba en el contenido del curso desde una situación sencilla y directa, al inicio del curso, hasta una muy elaborada o compleja al final de éste. Un ejemplo de actividad de aprendizaje se muestra a continuación:

I. Entregables

(a) individual: ninguno.
(b) equipo: "APPENDIX A: MODELING WORKSHEET" (Albin, 1997), borrador de fase de "Conceptualización" consensado por el equipo para realizar proyecto del curso. Incluir trabajos relacionados con referencias por leer en una breve sección inicial "Motivación y antecedentes".
--> en equipo, en computadora e impreso en hojas tamaño carta (pueden ser reciclables o por ambos lados).

II. Videos a estudiar

-- para resolver actividades de equipo en clase.
(09'26'') 1.3 Los fundamentos de la dinámica de sistemas <http://www.youtube.com/watch?v=SDRvkOkiIOU>
Video a estudiar para resolver actividad en clase:
(23'22'') Building a Simple Vensim Model2 http://www.youtube.com/watch?v=_vRMWx0JpcY
No hay entregable alguno sobre este punto.

III. Para examen de medio término

-- confirmar entendimiento de los conceptos:
1. "Positive feedback" – "balancing loops"
2. "Negative feedback" – "reinforcing loops"
Podrían encontrar útiles, entre otras fuentes, capítulo 04 de (Sterman, 2000, pp. 107-127) e igualmente capítulo 4 de (Scheel, 2008, pp.49-64).
No hay entregable alguno sobre este punto.

IV. Agenda

4.1) "Experimentos de simulación sobre el lanzamiento de un producto innovador". Resultados de simulación sobre el modelo de (Sterman, 2001, pp. 17-22).
Instrucciones:

(1) construir individualmente el modelo de simulación explicado con diagrama híbrido bloque-causal, ecuaciones y gráficas por (Sterman, 2001, pp. 17-22).

(2) Obtener el modelo matemático basado en ecuaciones diferenciales

(3) diseñar y desarrollar experimentos para descubrir el efecto de cambio en “Adopter Population” y “AdoptionRate” por cambio en los parámetros “Contact Frequency”, “Probability of Adoption After Contact” y “Total Population”, así como en los valores iniciales de las variables de nivel (“Level Variables” rectángulos), también llamadas variables de estado.

4.2 integrar en una sola página de papel tamaño carta, la conclusión de sus observaciones al artículo (Ford y Sterman, 1998). Específicamente, sobre la cantidad de referencias bibliográficas, de artículos y la manera de reportarlas en estudios que utilizan Dinámica de Sistemas. Asimismo, sobre la manera de explicar las ecuaciones del modelo y figuras. De manera especial, describir cómo se presentan y explican los diagramas de bloques, también conocidos como, diagramas de Forrester que se incorporan al documento.

4.3) en la segunda parte y durante una hora y quince minutos, se confirmaran entendimientos sobre los conceptos de “Positive feedback” y “Negative feedback” con base en la resolución de un caso (longitud de una página) y se practicará el enfoque de pensamiento sistémico. Se generará un entregable escrito e individual para evaluación de esta actividad a entregar al final de la sesión.

V. Referencias

Albin, S. (1997). Building a System Dynamics Model. Part 1: Conceptualization. In Road Maps 8, code: D-4597. <http://clexchange.org/ftp/documents/Roadmaps/RM8/D-4597.pdf>

Ford, D. N., Sterman, J. D. (1998). Dynamic modeling of product development processes. System Dynamics Review. Vol. 14, No. 1, pp. 31-68. John Wiley & Sons.

Sterman, J. D. (2000). Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world. Boston, MA: McGraw-Hill. <http://www.mhhe.com/business/opsci/sterman/>

Sterman, J. D. (2001). System dynamics modeling: tools for learning in a complex world. California Management Review. Summer 2001. Pp. 8-25. Available at ITESM Digital Library.

Tabla 2. Calendario de actividades

Sesión 1	1er día de clase / Actividad de aprendizaje 01: ejemplos de proyectos finales
Sesión 2	Actividad de aprendizaje 02: lectura 01 y lectura 02
Sesión 3	Actividad de aprendizaje 03: lectura 03 y borrador de “Conceptualización”
Sesión 4	Actividad de aprendizaje 04: lectura 04
Sesión 5	Avance de proyecto: “Articulación del problema” y “Construcción de hipótesis dinámica”
Sesión 6	Examen de medio término
Sesión 7	Actividad de aprendizaje 05: ejercicios de modelación con iThink o Vensim
Sesión 8	Avance de proyecto: “Formulación de modelo de simulación”
Sesión 9	Avance de proyecto: “Prueba de modelo”
Sesión 10	Actividad de aprendizaje 06: ejercicios de modelación
Sesión 11	Examen final: defensa de proyecto. Incluye el “Diseño de políticas” en reporte final.
Sesión 12	Entrega de reporte final del proyecto.

Los cinco elementos de cada actividad de aprendizaje son: (I) Entregables individuales y de equipo; (II) Videos a estudiar; (III) Para examen de medio término; (IV) Agenda de la sesión, y (V) Referencias (ver anexo A como ejemplo).

3.7.3 Sistema de evaluación

Se definió el sistema de evaluación orientado a evaluar conocimiento en un examen de medio y la evaluar habilidades y actitudes con el desarrollo de un proyecto:

30% Examen conceptual de medio término
 50% Defensa de proyecto en examen final
 20% Actividades de aprendizaje

3.7.4 Recursos

Se seleccionó la mejor bibliografía disponible y conocida por los autores con base en la práctica de las principales universidades del mundo.

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston, MA: McGraw-Hill. <http://www.mhhe.com/business/opsci/sterman/>

Senge, Peter M. (2006, 1990). *The 5th. discipline: the art and practice of the learning organization*. New York: Doubleday/Currency.

Morecroft, J. (2007). *Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems Approach*. West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd.

<http://he-cda.wiley.com/WileyCDA/HigherEdTitle/productCd-0470012862.html>

El primero es libro clásico de texto considerado como la mejor aportación en la disciplina de Dinámica de Sistemas. El libro explica los principales sistemas dinámicos de negocio y administración. El segundo es el libro que en los 90's hizo accesible finalmente los fundamentos de Dinámica de Sistemas con el fin de aplicar pensamiento sistémico en el entendimiento de organizaciones que aprenden. El tercer libro se considera una guía para construir simuladores basados en Dinámica de Sistemas.

Se seleccionaron videos que expusieran aspectos prácticos de Dinámica de Sistemas y difícilmente hallables en libros o artículos:

(13'24'') 1.1 Abriendo la puerta a la dinámica de sistemas <http://www.youtube.com/watch?v=1Zp5GhFxdE4>

(07'15'') 1.2 Los inicios de la dinámica de sistemas

<http://www.youtube.com/watch?v=iyOapgS7rxE>

(09'26'') 1.3 Los fundamentos de la dinámica de sistemas <http://www.youtube.com/watch?v=SDRvkOkiIOU>

(13'26'') 1.5 Principios de sistemas sociales.

<http://www.youtube.com/watch?v=Ji2Jxd3rTsw>

(5'17'') Peter Senge - Navigating Webs of Interdependence <http://www.youtube.com/watch?v=HOPfVVMCwYg>

(6'52'') MIT Professor John Sterman on Climate Change <http://www.youtube.com/watch?v=bgn09iW-anI&NR=1&feature=endscreen>

(23'22'') Building a Simple Vensim Model2 <http://www.youtube.com/watch?v=vRMWx0JpcY>

(18'31'') Vensim System Dynamics Hands on example.mp4 <http://www.youtube.com/watch?v=9HzIzgSaPp4>

4 REFLEXIONES Y RESULTADOS ESPERADOS

4.1 ALGUNOS RESULTADOS CUALITATIVOS OBSERVADOS EN SEPTIEMBRE-DICIEMBRE 2013

Es importante resaltar que el curso se impartió solo a 5 estudiantes por lo que es difícil generalizar lo observado ya que durante el curso los alumnos contaron con asesorías personalizadas del proyecto así como la resolución de muchos ejemplos prácticos en clase, notablemente a través de una introducción y tratamiento formal de la ED que subyace detrás del fenómeno modelado. Algunos primero **resultados cualitativos** observados durante la primera implementación que son relevantes de mencionar fueron los siguientes:

Dificultad de los alumnos por comprender la problemática general.

Dificultad en la decisión de esclarecimiento de magnitudes (variables) en juego. Necesidad de acotar magnitudes de interés.

Mayor tiempo en reflexionar sobre el proyecto (desde la sesión 1); entregables orientados en avanzar en las diversas etapas del mismo.

Se observó los beneficios de la interacción al construir una base de confianza con los diagramas de Forrester al relacionarlos con la modelación y simulación de ED.

Poca dificultad de manejo de software gracias a dinámica de clase y al apoyo de tutorial(es) en línea.

Fuerte orientación a datos empíricos; todo lo querían ver a través de datos empíricos; dándole mayor peso a datos cuantitativos que cualitativos. Poco aprovechamiento a consulta a expertos.

Las propuestas de políticas pueden ser muy utópicas o idealizadas, sin embargo hay un alto compromiso de los modeladores por hacer que sucediera sin tomar realmente en cuenta todas las implementaciones prácticas.

4.2 SOBRE RESULTADOS ESPERADOS EN LA IMPLEMENTACIÓN ABRIL-JULIO 2013

Durante el presente trimestre abril-julio 2013, se imparte el curso a 22 estudiantes y se espera con este diseño propuesto:

- (a) reducir la dificultad de los alumnos en la decisión de selección y esclarecimiento de magnitudes (variables de estado) en juego;
- (b) incrementar la habilidad del manejo de incertidumbre con base en el manejo formal de variables cualitativas y cuantitativas usando Dinámica de Sistemas y Ecuaciones diferenciales;
- (c) incrementar la base de confianza de los modelos de simulación de Dinámica de Sistemas al relacionarlos con la modelación y simulación de Ecuaciones Diferenciales;
- (d) aumentar períodos de reflexión sobre filosofía y técnicas de validación de modelos;
- (e) aumentar la certidumbre sobre el para qué y porqué del curso desde la primera sesión de clase con base en la exposición del producto final del proyecto, junto con la orientación de entregables de avance de proyecto indicado en el calendario;
- (f) reforzar el auto-aprendizaje de paquetes computacionales a través de tutoriales grabados; (g) incrementar la habilidad de adquirir y representar conocimiento de expertos a través de la construcción de modelos formales matemáticos y de simulación;
- (h) reducir las propuestas de alivio o mejora altamente utópicas o idealizadas al tener una mayor comprensión de las problemáticas;
- (i) incrementar el compromiso de modeladores y sus clientes por hacer que sucedan las propuestas de mejora.

4.3 Sobre áreas de mejora al curso

Entre algunas reflexiones, se consideran algunas **áreas de mejora** futuras, tales como, la necesidad de diseñar instrumentos para cuantificar los resultados esperados del diseño propuesto; la necesidad de incorporar formalmente modelos discretos y para complementar el punto de vista actual hacia sistemas continuos; enfatizar mayormente en el diseño del curso la el entendimiento de las estructuras matemáticas; diseño de herramientas de diagnóstico para conocer el conocimiento matemático de los alumnos al inicio del curso; promover y alentar la conversión entre lenguajes gráficos, como diagrama a bloques en Vensim, a lenguaje matemático matemático, en términos de ED y/o en diferencias, (cf. Bourguet & Pérez, 2003, Bourguet, 2005).

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado la reflexión y experiencia del trabajo colegiado entre dos profesores de Matemáticas e Ingeniería Industrial en este ensayo. En un primer momento, como un reporte del trabajo que nació en Enero-Mayo 2013 y que permitió tener una primera vista de los puntos en común y áreas de oportunidad de una sinergia entre los cursos de Ecuaciones Diferenciales & Dinámica de Sistemas. En un segundo momento, el presentar los conceptos claves de diseño y desarrollo del curso de posgrado “Modelación dinámica de sistemas” que se imparte en el trimestre abril-mayo 2013 con base en la experiencia anterior. Conceptos claves del diseño son: complejidad en organizaciones, fundamentos matemáticos de sistemas dinámicos a través de ecuaciones diferenciales empleando específicamente la representación de variables de estado, fundamentos de simulación a través del lenguaje gráfico de Dinámica de Sistemas y la estructuración orientada a la metodología de modelación de Dinámica de Sistemas. Finalmente, se expuso de manera breve resultados esperados de la implementación de este curso durante el trimestre abril-julio 2014 y las posibles mejoras que pudiera tener este curso en una impartición futura. Entre las cuestiones nuevas que surgieron y que pareciera pudieran ser útiles queda un hueco importante a subsanar en las futuras imparticiones del curso de posgrado, la cual es la falta de una rigurosidad en el método de investigación así como el abordaje de manera más detallada de la validación de modelos. Se consideró entonces efectuar ajustes durante el curso para atender estos elementos entonces de gran importancia y relevancia el incluir el tema de validación de modelos para dar formalidad al proceso de investigación en implementaciones futuras del curso de posgrado. La manera en que se ha considerado el capitalizar esta experiencia de trabajo colegiado ya ocurre justamente en este trimestre al implantar el diseño en una materia de posgrado. El paso siguiente consiste en el diseño o rediseño de diversas situaciones/actividades de los cursos de profesional durante el semestre agosto-diciembre 2014. Específicamente en un curso de Matemáticas (Ecuaciones Diferenciales) e Ingeniería Industrial

(Dinámica de Sistemas) a manera de pilotos; se espera el generalizar estas prácticas a otros cursos de profesional de la misma materia.

REFERENCIAS

- Blanchard, P. (1994) Teaching differential equations with a dynamical systems viewpoint, *en The College Mathematics Journal*, 25, 385-393.
- Blanchard, P., Devaney, R. y Hall, G. (2006). *Differential Equations*. (3a edición). Belmont: Cengage.
- Bourguet, R. E. y Pérez, G. (2003). On Mathematical Structures of Systems Archetypes. En *Proceedings of the 21st International System Dynamics Conference*. Nueva York, E.U.A.: System Dynamics Society.
- Bourguet, R. E. (2005). Desarrollo de Pensamiento Sistémico usando ecuaciones diferenciales y dinámica de sistemas. 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/rieee/>
- Bourn, D. & Neal, I. (2008). *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.
- Fisher, D. (1997). *Seamless Integration of System Dynamics into High School Mathematics: Algebra, Calculus, Modeling Courses*. Recuperado en: <ftp://www.clexchange.org/documents/implementation/IM1997-07IntegrationSDMath.pdf>
- Fisher, D. (2001). Lessons in Mathematics: a Dynamic Approach. Recuperado en: http://www.iseesystems.com/store/college_university/MathBook.aspx
- Fisher, D. (2005). Modeling Dynamics Systems. Third Edition. Recuperado en: <http://www.iseesystems.com/store/ModelingBook/default.aspx>
- Forrester, J. W. (1995). *Counterintuitive behavior of social systems*. Road Map D-4468-2. Recuperado el 28 de agosto de 2005, de <http://sysdyn.clexchange.org/road-maps/rm-toc.html>
- Jhori, A. (2009). *Preparing Engineers for a Global World: identifying and Teaching Strategies for Sensemaking and Creating New Practices*. Proceedings of the 39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conferencia.
- Kallaher, M. (1999). *Revolutions in Differential Equations, exploring ODES with modern technology*, en MAA Notes 50, Washington, D.C: MAA.
- Noonburg, V. (2014). Ordinary Differential Equations. From Calculus to Dynamical Systems. MAA Textbooks. Recuperado en: <http://www.maa.org/publications/books/ordinary-differential-equations-from-calculus-to-dynamical-systems>
- Sterman, J. D. (2000). Learning in and about complex systems. En *Business dynamics: system thinking and modeling for a complex world*. (Cap. 1, 5-10). Estados Unidos de América: Irwin/McGraw-Hill.
- Tecnológico de Monterrey. (2014a). Modelo Tec21. Documentos del Sistema Tecnológico de Monterrey. Recuperado de: http://www.itesm.mx/wps/wcm/connect/snc/portal+informativo/por+tema/educacion/modelotec21_18abr13
- Tecnológico de Monterrey. (2014b). Programa oficial del curso de Ecuaciones Diferenciales. México. Recuperado de: https://serviciosva.itesm.mx/PlanesEstudio/Consultas/Materias/ConsultaMaterias.aspx?Form=Consultar_Materias_Sintetico&ClaveMateria=MA2010&Idioma=ESP
- Tecnológico de Monterrey. (2014c). Programa oficial del curso de Dinámica de Sistemas. México. Recuperado de: https://serviciosva.itesm.mx/PlanesEstudio/Consultas/Materias/ConsultaMaterias.aspx?Form=Consultar_Materias_Sintetico&ClaveMateria=IN2005&Idioma=ESP
- Vohra, P., Kasuba, R. & Vohra, D. (2006). *Preparing Engineers for a Global Workforce through Curricular Reform*. *Global Journal of Engineering Education*, 10(2), pp. 141-147.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.