

ICT mediated collaborative work in system dynamics learning

Ricardo Vicente Jaime-Vivas^a & Adriana Rocío Lizcano-Dallos^b

^a Grupo de Investigación GIDSAW, Universitaria de Investigación y Desarrollo, Bucaramanga, Colombia. ricardojaime@udi.edu.co

^b Grupo de Investigación GIDSAW, Universitaria de Investigación y Desarrollo, Bucaramanga, Colombia. alizcano@udi.edu.co

Received: February 13th, de 2014. Received in revised form: April 29th, 2014. Accepted: May 20th, 2014

Abstract

Although mathematical modeling is a general engineering skill, problem analysis and solution design conventional tools in systems engineering, such as use case diagrams, class diagrams and relational diagrams among others, are often not supported by a mathematical model or this is not made explicit during learning. This may affect the ability of the systems engineer for interdisciplinary work, whose participation in the requirements determination phase of the software development process can be reduced to be notified of the needs identified by the other actors, without a critical contribution of its party. This paper presents results of research that show the favorable effect of collaborative work mediated by information and communication technology ICT on System Dynamics mathematical modeling skills developing by Systems Engineering students.

Keywords: Mathematical modeling; System Dynamics; Collaborative learning; ICT mediated learning.

Trabajo colaborativo mediado por TIC en el aprendizaje de dinámica de sistemas

Resumen

Aunque el modelamiento matemático es una competencia general de ingeniería, los instrumentos de análisis de problemas y diseño de soluciones usuales en Ingeniería de Sistemas, tales como diagramas de casos de uso, diagramas de clases y diagramas relacionales entre otros, no suelen tener el sustento de un modelo matemático o este no se hace explícito durante el aprendizaje. Esto puede afectar la capacidad del ingeniero de sistemas para el trabajo interdisciplinario, y su participación en la fase de determinación de requerimientos en el proceso de desarrollo de software puede quedar reducida a notificarse de las necesidades identificadas por los demás actores, sin un aporte crítico de su parte. Este artículo presenta resultados de investigación que muestran el efecto favorable del trabajo colaborativo mediado por tecnologías de la información y la comunicación TIC, en el desarrollo de competencias de modelamiento matemático con Dinámica de Sistemas en estudiantes de Ingeniería de Sistemas.

Palabras clave: Modelamiento matemático; Dinámica de Sistemas; Aprendizaje colaborativo; Aprendizaje mediado por TIC.

1. Introducción

El modelamiento matemático es una competencia indispensable en ingeniería, para abstraer tanto las situaciones problemáticas como las soluciones propuestas. Esto tan evidente en Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica o Ingeniería Química, entre otras que trabajan con energía y materiales, no parece tan claro en Ingeniería de Sistemas, disciplina en la que se desarrollan soluciones en el plano de la organización de la información. La disyunción entre la teoría y la práctica, y sobre todo la escasa relación percibida entre las definiciones matemáticas y la competencia de diseño, incrementan la falta de conciencia metalingüística que debe caracterizar a una actividad discursiva como el

modelamiento de datos e información [1], que podría superarse si estudiantes y docentes se enfocaran en que más allá de la resolución de problemas tipo, la aplicación de fórmulas y la demostración de teoremas, una competencia deseable en un curso de matemáticas es su incorporación al discurso para la utilización de un lenguaje técnico, con el cual el estudiante de ingeniería pueda expresar con precisión lo que puede ser ambiguo o confuso en el lenguaje cotidiano [2], e impreciso en los modelos en Lenguaje Unificado de Modelamiento UML, pues a pesar de su utilidad en el análisis y diseño de software, no representan ni la estructura ni el comportamiento de un sistema [3], y llevan a los desarrolladores de software a perder interacción y comprensión suficiente del dominio del problema [4].

Este artículo recoge resultados de dos proyectos de investigación desarrollados en el marco de convocatorias de la Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada RENATA: “Efecto del ejercicio de la Argumentación y del monitoreo de las variables centralidad y cohesión de grupo sobre el desarrollo de competencias matemáticas y la deserción estudiantil” de la convocatoria RENATA 2010, y “Red de Modelamiento y Representación Formal en Matemáticas” de la convocatoria RENATA 2011. El propósito de los dos proyectos era comprobar si el trabajo colaborativo mediado por tecnologías de la información y la comunicación, tiene un efecto favorable en el desarrollo de competencias matemáticas de modelamiento.

2. Modelamiento en Ingeniería

El modelamiento matemático es inherente a la ingeniería. La definición usual para la acreditación de programas en Estados Unidos refiere la ingeniería como la aplicación con criterio del conocimiento en matemáticas y ciencias naturales, para determinar el uso de los materiales y fuerzas de la naturaleza para el beneficio de la humanidad [5]. En el caso de la acreditación europea, se define ingeniería como una disciplina con raíces en la matemática, la física y otras ciencias naturales, aplicadas al desarrollo de modelos y métodos para la solución de problemas [6]. Entre todas las competencias de los ingenieros se destaca el aprecio por el lenguaje matemático, en la medida que es el lenguaje para modelar el mundo natural, que le da la capacidad para el análisis de sistemas complejos y para utilizar herramientas de trabajo asistido por computador; sin una capacidad para el modelamiento matemático dichas herramientas resultan inútiles [7].

Para algunos estudiantes de ingeniería, la notación sintáctica de los modelos matemáticos resulta difícil de abordar. La representación diagramática, de uso frecuente en ingeniería, constituye una opción para el abordaje preliminar de problemas y la formulación de soluciones previa a la expresión formal del modelo matemático, y su utilidad radica en que provee información asociativa que difícilmente se establece en las representaciones algebraicas o basadas en sentencias. Las diferentes ingenierías han desarrollado tipos de diagramas de acuerdo a sus necesidades de diseño; pero es factible también utilizar la representación diagramática durante los procesos de adquisición de conocimiento [8], lo cual extiende su utilidad a las fases de exploración de los problemas y determinación de requerimientos de las soluciones de ingeniería [9] y permite superar las barreras lingüísticas que usualmente surgen entre equipos multidisciplinarios que abordan un mismo problema, siendo los diagramas útiles tanto para capturar e integrar información, como para distribuirla mediante transformaciones sistemáticas en los esquemas que cada disciplina requiere [10].

Se podría suponer que la disponibilidad actual de herramientas matemáticas computacionales liberan a los estudiantes de ingeniería de su necesidad de destreza matemática. Por el contrario, esto hace necesario tener una nueva formación en modelamiento computacional que ya se empieza a conocer como E-ingeniería [11], sin la cual el

ingeniero podría verse en desventaja en el escenario de desempeño profesional, en el que gracias a las herramientas computacionales puede aprovechar el tiempo que ya no dedica a la solución de sistemas de fórmulas o ecuaciones, a descubrir nuevas técnicas, especialmente con respecto a la aplicación del cálculo diferencial, que en el ámbito de la ingeniería es la matemática más apropiada para modelar los aspectos dinámicos de objetos y fenómenos del mundo real [12], por lo que a la vez es la matemática más exigida en la acreditación de programas de formación en ingeniería [13]. El propósito del modelamiento matemático computacional es reducir el tiempo y esfuerzo de dedicación del ingeniero en la solución de sistemas de ecuaciones, para dedicarse a formularlos, es decir, a crear modelos, a mejorar la consistencia de la información, reducir la ambigüedad y mejorar la precisión [10].

El modelamiento como competencia es más útil para el estudiante de ingeniería, que la capacidad analítica para resolver problemas matemáticos, sin que esta deba quedar relegada completamente. A partir de que el papel del ingeniero es intervenir en situaciones problemáticas, la habilidad para el modelamiento se puede tomar como la medida de su capacidad para entender y abstraer dichas situaciones [9]. La matemática tradicional del currículo de ingeniería, más enfocada en los contenidos que en el modelamiento, ha generado el inconveniente de que los estudiantes durante los cursos de matemáticas se dedican a resolver problemas tipo, pero no a abordar situaciones complejas que requieran acciones de ingeniería, lo cual ha quedado aplazado hasta el tercer o cuarto año de estudios. Frente a este enfoque de primero aprender matemáticas y luego utilizarlas para el modelamiento, ha surgido uno nuevo que busca la activación del aprendizaje de la matemática desde contextos o para propósitos extramatemáticos, es decir, primero modelar en el campo específico de interés o de aplicación del estudiante y sobre esta base estimular el aprendizaje de la matemática [14], de lo cual surge la recomendación de incorporar las competencias de modelamiento en los cursos de matemáticas, estimular el trabajo grupal e interdisciplinario, y formular estrategias para que asociada a la competencia de modelar, se estimulen las competencias de comunicación verbal [15], y que todo el proceso de ingeniería pueda estar soportado en modelos [9].

La Dinámica de Sistemas es una disciplina de modelamiento de alta difusión a nivel mundial. En Colombia suele estar incorporada en los cursos de modelamiento y simulación en programas de pregrado en Ingeniería de Sistemas, y eventualmente en Ingeniería Industrial. Al estar asociada a la formación en Ingeniería de Sistemas, estando esta profesión tan estrechamente vinculada al desarrollo de software como producto de ingeniería no orientado al uso de materiales y energía sino de información, se constituye en un escenario de coordinación del trabajo interdisciplinario: el software como desarrollo de ingeniería debe constituirse en una herramienta para la integración del trabajo de las demás especialidades.

3. Aprendizaje colaborativo

Con respecto al aprendizaje colaborativo [16] presenta un esquema para evaluar el trabajo colaborativo de grupos

en la solución de un problema, implementado como un juego informático. El artículo plantea métricas en 5 aspectos del trabajo colaborativo: aplicación de estrategias, cooperación al interior del grupo, revisión de los criterios de éxito, monitoreo y desempeño. Para la experimentación se seleccionaron 11 grupos, que fueron sometidos a un proceso que comprendía: breve descripción del software, asignación de los miembros a los computadores en cuartos separados para la interacción sincrónica, resolución del problema mediante la participación en el juego, y finalmente un análisis de datos grabados por la herramienta y de las entrevistas realizadas a los participantes para la auto-evaluación de la experiencia.

Los resultados arrojados por dicha experiencia sugieren que para obtener un proceso de aprendizaje exitoso tanto en la construcción individual de un contexto cognitivo como en las experiencias compartidas por los miembros, es importante compartir la construcción de una estrategia que guíe el trabajo de grupo, la cual sea comprendida y adoptada por todos sus miembros. Los procesos de trabajo colaborativo están influenciados por el estilo personal y el comportamiento individual de cada uno de los miembros del grupo.

De acuerdo con los resultados obtenidos tanto en el puntaje del juego, como en los 5 indicadores definidos, se concluye que los grupos más efectivos son aquellos que tienen claros los objetivos y los van modificando a medida que avanza el trabajo, lo que involucra una buena coherencia entre los objetivos individuales y los objetivos grupales. Adicionalmente, los resultados muestran que los grupos inefectivos presentan una pobre comunicación y tienden a mantener la estrategia. En el caso de las actividades colaborativas, desarrollar una tarea implica no solo tener las habilidades para ejecutar la tarea, sino también colaborar para que todos los compañeros del equipo lo hagan.

Con respecto al tipo de herramientas computacionales con que se soporta el proceso de aprendizaje colaborativo, [17] presenta evidencia de que no hay un efecto concluyentemente favorable en experiencias mediadas por software de propósito específico en la temática asociada al problema, con respecto a experiencias con software de propósito general. En cambio sugiere que hay una convergencia en los patrones de aprendizaje de quienes participan en el grupo colaborativo, pero que esto no necesariamente implica una mejora en la construcción de conocimiento, dado que el proceso de aprendizaje colaborativo tiene unos riesgos inherentes, entre los cuales se cuenta el que el grupo haga una división inadecuada del trabajo.

4. Aspectos metodológicos

El trabajo colaborativo en este proyecto consistió en el abordaje grupal de casos de estudio cada vez más complejos. Se utilizaron 6 casos en sesiones basadas en cuatro formas de representación: verbal, diagramática, algebraica y computacional.

El grupo experimental estaba conformado por 37 estudiantes, y el grupo de control constaba de 39, ambos de

Tabla 1.
Casos abordados durante el curso

Casos	Representación			
	V	D	A	C
00 – Especies invasoras	G	G	G	G
01 – Cuenta de ahorros	C	C	C	C
02 – Chernobyl	E	C	C	C
03 – Productos lácteos	E	E	C	C
04 – Computación en la nube	X	E	E	E
05 – Papel o plástico	E	X	E	E

Fuente: Los autores.

curso de Dinámica de Sistemas correspondiente al noveno semestre del plan de estudios, en horario nocturno y con una carga académica similar, durante el segundo periodo académico de 2012.

Los dos grupos utilizaron los mismos casos y formas de representación; la diferencia entre los dos es el trabajo mediado por software. Cada celda de la Tabla 1 corresponde a una sesión. La letra “E” indica que el grupo experimental trabajó en una sala de informática, haciendo uso de software para mediar su trabajo colaborativo. La letra “C” indica que el caso fue utilizado por el docente en clase. La letra “G” corresponde a un caso que se entregó a los estudiantes completamente desarrollado a manera de guía. El grupo de control abordó las sesiones marcadas con “E” en forma de taller en el aula de clase.

4.1. Dinámica de las sesiones

Se acordó con los dos grupos que las sesiones no generarían ninguna nota, para eliminar un factor de presión que pudiera limitar la participación de algunos estudiantes por temor a incurrir en errores. Las notas se obtuvieron en evaluaciones individuales idénticas para los dos grupos.

La formulación de cada caso era entregada a los estudiantes, tanto los del grupo experimental como los del grupo de control, con un mínimo de cuatro días de anticipación a la sesión de trabajo. Dicha formulación es un documento que contiene información general de la actividad, menciones explícitas a las competencias del curso que se trabajan en la sesión, un contexto de modelamiento en el que el docente introduce la situación o problema a modelar, referencias a sitios en internet en donde se recomienda al estudiante la búsqueda de información complementaria para ampliar su comprensión del caso, y una pregunta a partir de la cual se comenzaría la discusión del caso. También se distribuyó un documento con instrucciones y recomendaciones de uso de cada software, con al menos una semana de antelación a la primera sesión en que se utilizara.

Cada sesión no era en sí misma una actividad evaluativa, sino una actividad en la que era importante participar en el proceso de construcción colaborativa de un modelo. En cada sesión, los estudiantes se distribuían en grupos de 4 o 5, cuya conformación se hacía justo al inicio de cada sesión de trabajo colaborativo, teniendo cuidado de que hubiera una rotación permanente, es decir, que cada estudiante tuviera compañeros diferentes en cada sesión para prevenir acuerdos tácitos permanentes de distribución inadecuada del trabajo como sugiere [17]. Dado que no era posible tener a

los estudiantes en recintos separados, como se hizo en el experimento mencionado en [16], se asignaba un computador a cada estudiante en la misma sala pero evitando que miembros del mismo grupo se ubicaran en puestos adyacentes para eliminar la comunicación oral directa.

En las sesiones con el grupo experimental el docente participaba como moderador de las discusiones en línea, cuya función no era contribuir a la solución del caso, sino monitorear que los grupos fueran elaborando una estrategia de colaboración, y que a pesar de la heterogeneidad en el nivel de competencias, el grupo no permitiera que un integrante elaborara una solución a partir de su capacidad individual, sino que llevara a cabo un proceso de cooperación y argumentación.

Una vez concluida cada sesión se distribuía la solución propuesta por el docente, para ser leída por los estudiantes y utilizada en una clase posterior para la realimentación correspondiente. Con ambos grupos se finalizó cada caso en trabajo orientado por el docente para la conversión del diagrama de influencias en diagrama de clases, como se plantea en [18].

4.2. Modelamiento con Dinámica de Sistemas

En el curso incorporado a este proyecto la Dinámica de Sistemas se presenta como herramienta de modelamiento que sirve como puente entre el proceso de aprendizaje acerca de la dinámica de un fenómeno y el diseño de software para intervenir en el mismo, de manera que el Ingeniero de Sistemas pueda participar activamente en grupos de trabajo interdisciplinario, utilizar la información que le aporten los expertos en el campo de aplicación para el modelamiento matemático de los problemas y la representación del conocimiento pertinente para su comprensión y solución, y luego transformar los modelos usuales en Dinámica de Sistemas en otros modelos específicos de Ingeniería del Software [18], como un complemento al curso de Ingeniería del Software y al uso de UML, cuya utilidad ha sido criticada por consistir en un abordaje descriptivo sin soporte matemático, que limita la comprensión del ámbito del software por parte de los desarrolladores [19]. Lo anterior implica variaciones metodológicas con respecto al proceso de modelamiento tradicional con Dinámica de Sistemas, consistente en tres fases cíclicas denominadas conceptualización, formalización y simulación del comportamiento del sistema, y cuyo fin último es la experimentación mediante simulación para soportar la toma de decisiones [20].

4.2.1. Modelamiento cualitativo de la estructura básica del sistema

En el modelamiento tradicional con Dinámica de Sistemas, los elementos incorporados a los diagramas de influencias no se clasifican bajo ningún criterio, y ese ha sido un elemento fuertemente criticado de los diagramas de influencias. Para los propósitos de la reorientación metodológica del curso ya descritos antes, se requiere a los estudiantes empezar el modelamiento identificando los

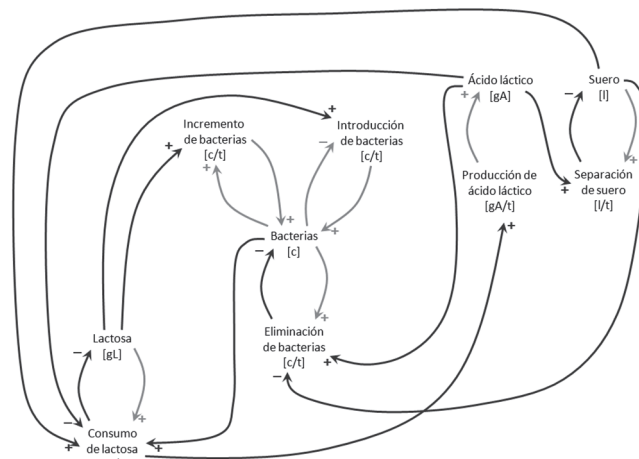


Figura 1. Diagrama de influencias de la estructura básica de un sistema. Fuente: Los autores.

Tabla 2. Sustantivos y verbos de la estructura básica de un sistema

Elemento	Tipo	Unidad
Bacterias	BAC S	Colonias [c]
Introducción de bacterias	INT V	Colonias/tiempo [c/t]
Incremento de bacterias	INC V	Colonias/tiempo [c/t]
Eliminación de bacterias	ELI V	Colonias/tiempo [c/t]
Lactosa	LAC S	Gramos [g]
Consumo de lactosa	CON V	Gramos/tiempo [g/t]
Ácido láctico	ALC S	Gramos [g]
Producción de ácido láctico	PRO V	Gramos/tiempo [g/t]
Suero	SUE S	Litros [l]
Separación de suero	SEP V	Litros/tiempo [l/t]

Fuente: Los autores.

elementos de la estructura básica del sistema, clasificándolos en dos categorías: sustantivos y verbos. Los sustantivos son elementos tangibles en términos de cantidad y unidad de medida. Los verbos son las acciones o eventos que cambian el valor de los sustantivos, y su unidad de medida es la misma de estos, pero en relación con la unidad de tiempo.

Entonces, aunque el primer modelo usual en Dinámica de Sistemas es el diagrama de influencias, como el que se muestra en la Fig. 1, en el curso que hizo parte de este proyecto se requirió a los estudiantes discutir y hacer una selección de los sustantivos y verbos que utilizarían en el modelamiento, haciendo mención explícita de sus unidades de medida, y organizar dicha información acompañada de documentación adicional con la definición de cada elemento.

La Tabla 2 muestra, para ilustrar acerca del formato mas no para documentar la solución completa del caso, la lista de elementos de la estructura básica del sistema propuesta por el docente como parte de la solución al caso denominado “Productos lácteos”.

La representación diagramática es inherente al modelamiento con Dinámica de Sistemas. En la metodología utilizada tradicionalmente se construyen dos tipos de diagramas: diagramas de influencias también llamados diagramas causales, y diagramas de flujos y niveles conocidos también como diagramas de Forrester. La

línea ortodoxa de modelamiento, apegada a los lineamientos de Jay Forrester, prefiere el uso de los diagramas de flujos y niveles, por su estrecha relación con el modelo matemático; para este grupo de modeladores el diagrama de influencias carece de rigor y se presta para imprecisiones, ambigüedades o abordajes subjetivos. Por el contrario, los partidarios del modelamiento cualitativo son partidarios del uso de dichos diagramas por su utilidad como medio de comunicación; acerca del escaso rigor que le critican los modeladores ortodoxos, desde el modelamiento cualitativo se argumenta que es superable con reglas claras.

Los diagramas de influencias son representaciones que ayudan a las personas a externalizar y enriquecer sus modelos mentales [21], a resumir grandes cantidades de texto, orientar una discusión, explicar el comportamiento de los sistemas a partir de estructuras cíclicas, ampliar el contexto de abordaje de un problema, y como paso intermedio entre el lenguaje natural y el lenguaje matemático [22].

La representación utilizada fue la de diagramas de influencias, pues son construidos mientras que personas de diferentes disciplinas discuten acerca de un problema que los involucra, y son representaciones cercanas al lenguaje natural, en las que diferentes perspectivas expresan sus argumentos. Después de identificar los sustantivos y verbos constitutivos de la estructura básica del sistema, se procede a la construcción del primer diagrama de influencias del sistema. Las influencias se caracterizan de acuerdo al tipo de elementos de donde parten y a donde llegan: de un verbo hacia un sustantivo llevan signo “+” o “-” según impliquen incremento o decremento del valor del sustantivo; de un sustantivo a un verbo, implican causalidades directas o inversas según su signo sea “+” o “-” respectivamente; no se permiten relaciones entre sustantivos; un sustantivo solo puede influir sobre otro a través de los verbos.

4.2.2. Modelamiento cuantitativo de la estructura básica del sistema

A cada sustantivo le corresponde una ecuación diferencial. El valor futuro surge de sumar o restar al valor actual del sustantivo los verbos según su signo de influencia. Por cada verbo hay una ecuación auxiliar, construida únicamente con los elementos desde donde llegan influencias. A los estudiantes se les sugiere organizar el modelo matemático como se muestra en la Tabla 3.

La formulación de las ecuaciones de los verbos, para las cuales se puede recurrir a otras ramas de la matemática, con frecuencia lleva a los modeladores a identificar nuevos elementos. A manera de ejemplo se presentan a continuación las consideraciones para la ecuación de la producción de ácido láctico PRO.

Tabla 3. Ecuaciones diferenciales de un sistema

Elemento	Tipo
BAC	$BAC(t + \Delta t) = BAC(t) + INT(t) * \Delta t + INC(t) * \Delta t - ELI(t) * \Delta t$
LAC	$LAC(t + \Delta t) = LAC(t) - CON(t) * \Delta t$
ALC	$ALC(t + \Delta t) = ALC(t) + PRO(t) * \Delta t$
SUE	$SUE(t + \Delta t) = SUE(t) - SEP(t) * \Delta t$

Fuente: Los autores.

Como se observa en la Fig. 1, la producción de ácido láctico depende del consumo de lactosa por parte de las bacterias. Por tanto, la correspondiente ecuación debe representar la producción de una cantidad de ácido láctico a partir del consumo de una cantidad de lactosa. En el proceso de validación de unidades de medida, se utilizaron las letras A y L para acompañar a las unidades [g] del ácido láctico y la lactosa respectivamente, como recurso visual para que fuera claro para los estudiantes que aunque son las mismas unidades de medida se trata de materiales diferentes. Luego de este recurso temporal, resulta notorio que se debe obtener PRO medido en [gA/t], a partir de CON medido en [gL/t], y que al menos hacía falta incorporar un nuevo elemento medido en [gA/gL] para obtener las unidades de medida apropiadas, y que revisando la formulación y la documentación del caso consultada en internet, a este nuevo elemento se le podía denominar Factor de conversión de lactosa, que indica la cantidad de ácido láctico que las bacterias producen por cada unidad de lactosa que consumen, y que para el modelo matemático se abreviaría como FCL, siendo la ecuación final $PRO(t) = CON(t) * FCL(t)$.

4.2.3. Modelamiento enriquecido del sistema

Estos nuevos elementos del modelo, obtenidos a partir de la formulación de las ecuaciones de los verbos, se consideran como parámetros, multiplicadores o factores exógenos, y se agregan a la estructura básica del sistema, en un proceso iterativo que produce diagramas de influencias enriquecidos y validados matemáticamente.

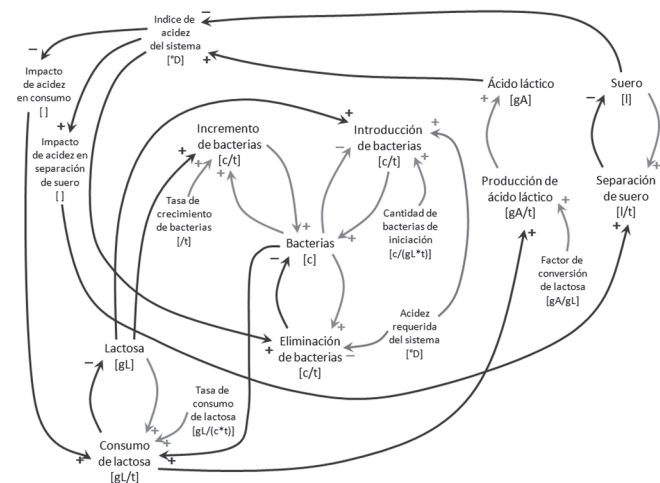


Figura 2. Diagrama de influencias enriquecido de un sistema. Fuente: Los autores.

4.2.3. Simulación del comportamiento del sistema

El modelo matemático se implementa en una hoja de cálculo, en donde cada fila representa el estado del sistema en un tiempo t y cada columna contiene la sucesión de valores para un elemento variable del sistema.

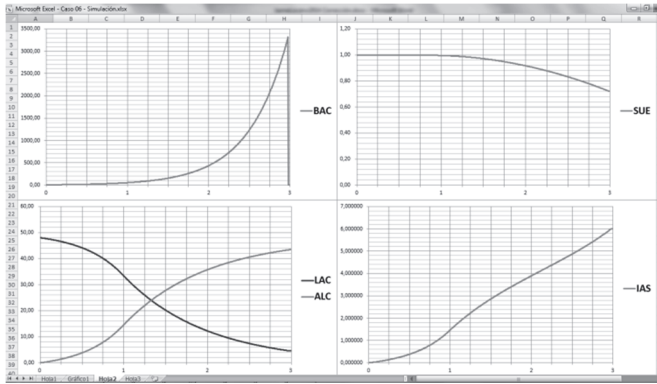


Figura 3. Simulación del comportamiento de un sistema mediante hoja de cálculo.

Fuente: Los autores.

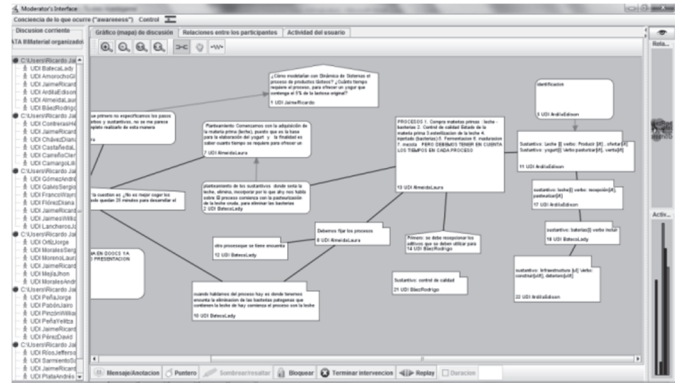


Figura 4. Fragmento de mapa verbal argumentativo de una sesión del grupo experimental.

Fuente: Los autores.

4.3. Sesiones de trabajo colaborativo

Cada sesión de trabajo hacía énfasis en una de cuatro formas de representación: verbal, diagramática, algebraica y computacional. Dichas formas están relacionadas pero no son equivalentes a las fases metodológicas de modelamiento con Dinámica de Sistemas referidas en la sección anterior. Aunque existe software desarrollado específicamente para el modelamiento con Dinámica de Sistemas, se optó por herramientas de propósito general pero que proveen funcionalidades de interacción que el docente pudiera utilizar para monitorear y prevenir los riesgos planteados por [17].

4.3.1. Representación verbal

El proyecto contemplaba cumplir una fase de aproximación verbal al fenómeno, una discusión acerca del mismo con base en ontologías argumentativas, para identificar y justificar los elementos que conforman la estructura básica del sistema. Se pretendía replicar los resultados del proyecto RENATA 2011, en el cual se concluyó que la participación en sesiones de trabajo mediante ontologías argumentativas tuvo un impacto favorable en el desempeño académico de estudiantes de ingeniería en el curso de Matemáticas I, quienes lograron una participación cada vez más activa en la discusión, un incremento en su nivel de confianza para comunicar sus aportes, y una mejora notoria incluso en las clases presenciales [23].

Para el abordaje verbal de los casos se utilizó el software Argonaut 1.0. Aunque se hubiera podido hacer una discusión por medios más familiares para el estudiante, como el chat o los foros, también había evidencia de que el trabajo colaborativo utilizando categorías ontológicas resulta más favorable que el foro de discusión, tanto en aspectos individuales como grupales [24].

La Fig. 4 muestra un mapa de discusión construido por los estudiantes durante el abordaje de un caso, y que podría explicarse sencillamente como una especie de chat gráfico en el que los participantes no intervienen en formato libre, sino que utilizan diferentes formas según el tipo de aporte que hacen a la discusión, y vincula dicho aporte con otros mediante líneas que implican acuerdo, desacuerdo o relación.

Para el análisis de datos se construyó un indicador de desempeño verbal normalizado (IVN), dividiendo el número de aportes del estudiante por el número de sesiones en las que había participado, valor que luego fue normalizado con respecto al valor máximo del grupo.

4.3.2. Representación diagramática

Existe una diversidad de herramientas computacionales para modelar con Dinámica de Sistemas, como Stella, PowerSim, Vensim, o Evolución. Sin embargo no se utilizó ninguno de estos porque se orientan de manera predominante a los diagramas de flujos y niveles y la simulación.

En cambio se utilizó la herramienta de diapositivas de la plataforma Google Drive, que ofrece elementos de dibujo básicos con los cuales se puede construir un diagrama de influencias, y permite el trabajo colaborativo y la discusión en línea mediante el chat durante el proceso.

Para el análisis de datos se formuló un Indicador de Desempeño Diagramático (IDD), que se calculó dividiendo el número de elementos, relaciones y ciclos acertados en el modelo de los estudiantes entre el número de elementos de la solución sugerida por el docente.

4.3.3. Representación algebraica

En este tipo de sesiones los estudiantes utilizaron el editor de texto de la plataforma Google Drive, para formular el modelo matemático del sistema, discutiendo mediante el chat durante el proceso.

Para el análisis de datos se construyó un Indicador de Desempeño Algebraico (IDA) como comparación del alcance de la representación dada por el grupo de estudiantes frente al alcance de la representación sugerida por el docente. Se calculó sumando las variables, datos y fórmulas identificadas por el estudiantes y asimilables a la solución sugerida por el docente, y dividiendo por la suma de variables, datos y fórmulas planteadas por el docente.

4.3.4. Representación computacional

La simulación por computador ha sido el principal objetivo del modelamiento con Dinámica de Sistemas,

especialmente en la línea ortodoxa. Existe variedad de herramientas software para este propósito, pero se puede llevar a cabo con herramientas de propósito general como las hojas de cálculo.

El grupo experimental utilizó para la simulación la hoja de cálculo de la plataforma Google Drive. En este tipo de sesiones los estudiantes tuvieron dificultades para construir diagramas de simulación con los datos obtenidos, atribuibles a falta de conocimiento de la herramienta, que tiene algunas diferencias con respecto a Excel, que es la hoja de cálculo con la que están familiarizados.

Para el análisis de datos se construyó un Indicador de Desempeño Computacional (IDC) como comparación del alcance de la representación dada por el estudiante frente al alcance de la representación sugerida por el docente. Se calculó sumando las diferentes fórmulas implementadas por los estudiantes asimilables a la solución dada por el docente, y dividiendo por la suma de formulas planteadas por el docente.

5. Análisis de resultados

La Tabla 4 muestra la comparación entre las notas de los tres exámenes parciales, P1, P2 y P3, hechos a lo largo del semestre tanto al grupo experimental (E) como al grupo de control (C).

El análisis estadístico indica que en el grupo experimental, el promedio es de 2,26 en P1, sube a 3,23 en P2 y llega a 4,07 en P3, mientras que para el grupo de control el promedio es de 2,54 en P1, sube a 3,05 en P2, y solo llega a 3,28 en P3.

El sesgo y la curtosis estandarizados muestran que se trata de datos que corresponden a una distribución normal, con excepción de P2C, cuyo sesgo estandarizado de 2,79 implica algo de no normalidad significativa.

La Fig. 5 muestra la secuencia de notas ascendente para ambos grupos; para P1 la media y la mediana del grupo de control es mejor, pero en P2 y P3 el grupo experimental es más favorable.

Luego se analizó por regresión la correlación estadística entre las notas de cada parcial con la pertenencia de los estudiantes al grupo experimental o al grupo de control.

Tabla 4. Resumen estadístico de notas de los grupos experimental y de control

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente Variación
P1C	39	2,54615	0,770798	30,2730 %
P1E	37	2,26757	1,08091	47,6682 %
P2C	39	3,05641	0,625256	20,4572 %
P2E	37	3,23784	0,759148	23,4462 %
P3C	39	3,28718	0,607921	18,4937 %
P3E	37	4,07568	0,614819	15,0851 %
	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada		
P1C	-1,077240	-0,3335110		
P1E	0,372878	-0,7113290		
P2C	2,799050	-0,0117224		
P2E	0,463517	-1,5540500		
P3C	1,660480	-0,4657830		
P3E	-1,415560	-0,7331120		

Fuente: Los autores.

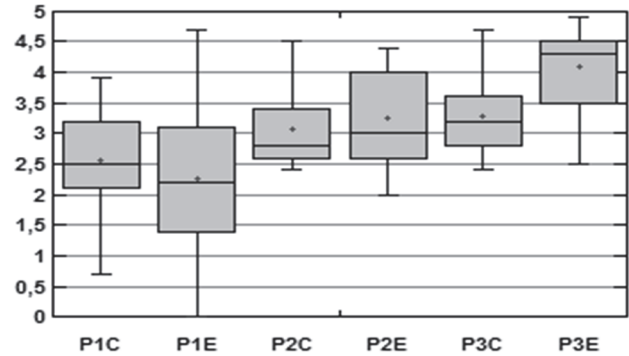


Figura 5. Diagrama de cajas con las notas de los grupos experimental y de control.

Fuente: Los autores.

Tabla 5. Análisis de regresión entre notas y pertenencia al grupo experimental o de control

	Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
P1	K	2,546150	0,1496570	17,01330	0,0000
	Grupo	-0,278586	0,2144870	-1,29885	0,1980
P2	K	3,056410	0,1110690	27,51800	0,0000
	Grupo	0,181428	0,1591840	1,13973	0,2581
P3	K	3,287180	0,0978842	33,58230	0,0000
	Grupo	0,788496	0,1402870	5,62058	0,0000

Fuente: Los autores.

Tabla 6. Análisis de regresión entre P3 y la pertenencia al grupo y las notas anteriores

	Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
P3	K	1,830060	0,3138470	5,83105	0,0000
	Grupo	0,804263	0,1247770	6,44562	0,0000
P1		0,237968	0,0667652	3,56425	0,0007
	P2	0,278503	0,0899604	3,09584	0,0028

Fuente: Los autores.

A partir de los datos mostrados en la Tabla 5 se puede afirmar que, a pesar de la favorabilidad para el grupo experimental en la evolución de la media de cada parcial, la nota solo está relacionada de una manera estadísticamente significativa con el grupo en el tercer parcial, porque para P1 el valor -P es de 0,1980, para P2 es de 0,2581, y para P3 es de 0,0000. Es decir, el efecto es acumulativo y por ende cada vez más fuerte.

Dado que P1 y P2 no estaban relacionadas de una manera estadísticamente significativa con el grupo, se utilizaron luego como variables independientes para un nuevo análisis de regresión, cuyos resultados se muestran en la Tabla 6. Este nuevo análisis muestra la relación estadísticamente significativa entre todos los componentes del modelo, dado que el valor -P del mismo es 0,0000. Igualmente, ratifica que el elemento más determinante es la pertenencia al grupo experimental.

Habiendo establecido el impacto favorable de la pertenencia al grupo, se realizaron nuevos análisis a los datos del grupo experimental, para determinar la incidencia de cada una de las formas de representación.

Tabla 7.
Análisis de regresión entre P3E y las formas de representación utilizadas en las sesiones

P3E	Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Mod 1	K	5,154260	0,819864	6,286720	0,0000
	SV	-0,013333	0,120279	-0,110854	0,9124
	SA	0,151852	0,273887	0,554433	0,5831
	SD	-0,527593	0,401263	-1,314830	0,1979
	SC	0,151852	0,273887	0,554433	0,5831
	Modelo				0,0871
Mod 2	K	3,267430	0,229690	14,225400	0,0000
	IVN	0,485586	0,198800	2,442580	0,0203
	IDA	0,604500	0,322892	1,872140	0,0704
	IDD	1,455510	0,409045	3,558300	0,0012
	IDC	0,170082	0,494019	0,344282	0,7329
	Modelo				0,0005

Fuente: Los autores.

En un primer modelo se analizó la relación estadística entre P3 y el número de sesiones de cada forma de representación en que los estudiantes participaron: sesiones de representación verbal (SV), diagramática (SD), algebraica (SA) y computacional (SC). El valor $-P=0,0871$ de la Tabla 7 muestra que en este primer modelo (Mod 1) no existe relación estadísticamente significativa entre P3 y el número de sesiones de cada forma de representación.

En un segundo modelo se analizó la relación estadística entre P3 y el los indicadores de rendimiento que los estudiantes obtienen en cada una de las formas de representación: indicador de rendimiento en sesiones de representación verbal (IVN), diagramática (IDD), algebraica (IDA) y computacional (IDC).

El valor $-P=0,0005$ de la Tabla 7 muestra que en este segundo modelo (Mod 2) sí existe relación estadísticamente significativa entre P3 y los indicadores de rendimiento. En cuanto a las formas de representación, las más significativas son la diagramática ($-P=0,0012$) y la verbal ($-P=0,0203$), seguidas de la algebraica y la computacional que se salen del nivel de confianza del 95%, ya que sus valores $-P$ son mayores que 0,05 (0,0704 y 0,7329 respectivamente). El número de sesiones en que participa cada estudiante no alcanza una variabilidad suficiente; el desempeño sí, porque los estudiantes cambian de grupo para cada sesión.

6. Conclusiones

Tanto el grupo experimental como el grupo de control abordaron los mismos casos de estudio y con las mismas formas de representación. La experimentación se hizo trabajando en aulas de informática desde un computador individual trabajando en grupos de 4 o 5 estudiantes, con la mediación de software que permite su participación concurrente en la elaboración de un mismo trabajo, y eliminando la comunicación oral directa. Entre tanto, el grupo de control trabajó en modo taller en el aula de clase normal.

Dado que la única diferencia entre el grupo experimental y el de control es la mediación del software en las condiciones establecidas, que el análisis de regresión muestra una fuerte correlación estadística entre las notas del tercer parcial de los estudiantes del curso y su pertenencia al

grupo, y que el análisis estadístico muestra que la media en la nota de dicho parcial es superior en el grupo experimental, se puede atribuir un efecto favorable de la utilización de software para la mediación en el abordaje de casos de estudio en trabajo colaborativo, en el logro de competencias de modelamiento matemático con Dinámica de Sistemas.

En cuanto a las formas de representación utilizada, se encuentra una alta influencia de la diagramática y de la discusión verbal argumentada, un poco menor de la representación algebraica, y muy débil por parte de la representación computacional. Sin embargo, sería pertinente establecer mediante nuevos experimentos si con un software diferente se pueden conseguir mejores resultados con respecto a las dos últimas representaciones.

Agradecimientos

Los autores son integrantes del Grupo de Investigación en Nuevas Tecnologías aplicadas a la Educación GIDSAW, de la Universitaria de Investigación y Desarrollo UDI. Los proyectos fueron objeto de los contratos IF-002-10 e IF-007-11 entre el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones CINTEL y la Fundación Universidad Central como ejecutora. También participaron docentes de los grupos TECNICE y TECNIMAT de la Universidad Central, COGNITEK de la Universidad Pedagógica Nacional, y KISHURIM de la Universidad Hebrea de Jerusalén, bajo la dirección del profesor Luis Facundo Maldonado. A todas estas personas e instituciones un agradecimiento.

Referencias

- [1] Holmboe, C., Conceptualization and labelling as cognitive challenges for students of data modelling. *Computer Science Education*, 15 (2), pp. 143-161, 2005. <http://dx.doi.org/10.1080/08993400500150796>
- [2] Khait, A., Goal orientation in mathematics education. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 34 (6), pp. 847-858, 2003. <http://dx.doi.org/10.1080/00207390310001595438>
- [3] Tignor, W., System engineering and system dynamics models. *Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society*, pp. 110-128, 2004.
- [4] Luna-Reyes, L.F., Black, L.J., Cresswell, A.M. and Pardo, T.A., Knowledge sharing and trust in collaborative requirements analysis. *System Dynamics. Review*, 24 (3), pp. 265-297, 2008. <http://dx.doi.org/10.1002/sdr.404>
- [5] Accreditation Board for Engineering and Technology – ABET, *ABET Accreditation Yearbook*. Baltimore: ABET Inc., 2010, 19 P.
- [6] European Network for Accreditation of Engineering Education – ENAEE, ENAEE / IEA Glossary of Terminology. [Online], 2013 [Date of reference March 13th of 2013]. Available at: <http://www.enaee.eu/publications/enaeeiea-glossary-of-terminology>.
- [7] Moore, D.J. and Voltmer, D.R., Curriculum for an engineering renaissance. *IEEE Transactions on Education*, 46 (4), pp. 452-455, 2003. <http://dx.doi.org/10.1109/TE.2003.818754>
- [8] Sen, T., Diagrammatic knowledge representation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22 (4), pp. 826-830, 1992. <http://dx.doi.org/10.1109/21.156595>
- [9] Ramos, A.L., Vasconcelos, J. and Barceló, J., Model-Based systems engineering: An emerging approach for modern systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 42 (1), pp. 101-111, 2012. <http://dx.doi.org/10.1109/TSMCC.2011.2106495>

- [10] Oliver, D.W., Engineering of complex systems with models. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 33 (2), pp. 667-685, 1997. <http://dx.doi.org/10.1109/7.588386>
- [11] Esper, P., Peng, D. and Maij, M., The role of computer modelling and E-engineering in civil, structural and geotechnical engineering. 2006 International Conference on Information and Communication Technologies ICTTA '06, 2006, pp. 7-11, 1993.
- [12] Tarvo, J., Mathematical modelling allows fast, easy design for process engineering. IEE Computing & Control Engineering, 16 (3), pp. 34-41, 2005. <http://dx.doi.org/10.1049/cce:20050305>
- [13] Accreditation Board for Engineering and Technology – ABET. Criteria for accrediting engineering programs. Baltimore: ABET Inc., 2011, 24P.
- [14] Niss, M., Models and Modelling in Mathematical education. Newsletter of the European Mathematical Society, (86), pp. 49-52, 2012.
- [15] National Academy of Engineering. Educating the engineer of 2020: Adapting engineering education to the new century. Washington DC: The National Academies Press, 2005.
- [16] Collazos, C., Guerrero, L., Pino, J. and Ochoa, S., Evaluating collaborative learning process. Proceedings of 8th international workshop on Groupware, pp. 203-221, 2002.
- [17] Taylor, P. and Fischer, F., Knowledge convergence in computer-supported collaborative learning: The role of external representation tools. Journal of the Learning Sciences, 14 (3), pp. 405-441, 2014.
- [18] Jaime, R., Modelamiento semántico con dinámica de sistemas en el proceso de desarrollo de software. RISTI Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información, 10 (1), pp. 19-34, 2012.
- [19] Jeyaraj, A. and Sauter, V.L., An empirical investigation of the effectiveness of systems modeling and verification tools. Communications of the ACM, 50 (6), pp. 63-68, 2007. <http://dx.doi.org/10.1145/1247001.1247007>
- [20] Callejas, M., Valero, H. and Alarcón, A., Simulation based on system dynamics for evaluating the quality of transport service in a complex social system. DYNA, 80 180, pp. 33-40, 2013.
- [21] Wolstenholme, E., Qualitative vs quantitative modelling: The evolving balance. Journal of the Operational Research Society, 50 (4), pp. 422-428, 1999. <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600700>, <http://dx.doi.org/10.2307/3010462>
- [22] Coyle, G., Qualitative and quantitative modelling in system dynamics: Some research questions. System Dynamics Review, 16 (3), pp. 225-244, 2000. [http://dx.doi.org/10.1002/1099-1727\(200023\)16:3<225::AID-SDR195>3.0.CO;2-D](http://dx.doi.org/10.1002/1099-1727(200023)16:3<225::AID-SDR195>3.0.CO;2-D)
- [23] Maldonado, L.F., Macías, D., De Groot, R. and Rodríguez, M., Argumentación en línea y construcción de redes sociales. en Maldonado, L.F., De Groot, R. and Drachman, R. Argumentación para el aprendizaje colaborativo de la matemática, 1 Ed., Bogotá D.C.: Ediciones Fundación Universidad Central, 2012, pp. 145-163.
- [24] Lizcano, A.R., Uso de categorías ontológicas en el aprendizaje colaborativo mediante la solución de casos matemáticos utilizando mediaciones tecnológicas. MSc. Tesis, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C., Colombia, 2012.

programa de Ingeniería de Sistemas de la Universitaria de Investigación y Desarrollo UDI, Colombia, en las áreas de Programación y Algoritmia. Desde 2008 lidera el Grupo de Investigación en Nuevas Tecnologías aplicadas a la Educación GIDSAW, donde trabaja en proyectos relacionados con la incorporación de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en los procesos de aprendizaje.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Ingeniería
de Sistemas e Informática

Oferta de Posgrados

Especialización en Sistemas
Especialización en Mercados de Energía
Maestría en Ingeniería - Ingeniería de Sistemas
Doctorado en Ingeniería- Sistema e Informática

Mayor información:

E-mail: acsei_med@unal.edu.co
Teléfono: (57-4) 425 5365

R.V. Jaime-Vivas, es Ingeniero de Sistemas egresado de la Universidad Industrial de Santander-UIS, Colombia. Es docente del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universitaria de Investigación y Desarrollo UDI, Colombia, en las áreas de Programación y Algoritmia, Bases de Datos, Teoría de Sistemas y Modelamiento con Dinámica de Sistemas. Desde 2008 es integrante del Grupo de Investigación en Nuevas Tecnologías aplicadas a la Educación GIDSAW, donde trabaja en proyectos relacionados con la incorporación de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en los procesos de aprendizaje, y la utilización del modelamiento con Dinámica de Sistemas en el proceso de diseño de sistemas de información y desarrollo de software.

A.R. Lizcano-Dallos, es Ingeniera de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, Colombia, MSc. en Tecnologías de la Información Aplicadas a la Educación de la Universidad Pedagógica Nacional, Colombia y MSc. en Gestión, Aplicación y Desarrollo de Software de la Universidad Autónoma de Bucaramanga-UNAB, Colombia. Es docente del