



**XVI**  
Congreso Nacional de  
Investigación Educativa  
CNIE-2021

## Desarrollo de una herramienta virtual interactiva para la enseñanza y aprendizaje de sistemas dinámicos en la Ingeniería de Control

### **Ernesto Elías Vidal Rosas**

Departamento de Física Médica e Ingeniería Biomédica, University College London, Reino Unido  
[Ernesto.vidal@ucl.ac.uk](mailto:Ernesto.vidal@ucl.ac.uk)

### **Cristina Galván Fernández**

Departamento de Teoría e Historia de la Educación, Universidad de Barcelona, España  
[cgalvan@ub.edu](mailto:cgalvan@ub.edu)

Área temática 06. Educación en campos disciplinares.

Línea temática: Desarrollo curricular -diseño de secuencias didácticas, innovación educativa y, diseño y evaluación de materiales educativos.

Tipo de ponencia: Reportes parciales o finales de investigación.



### **Resumen**

En este trabajo se presenta una herramienta de simulación interactiva para ayudar en el estudio de sistemas dinámicos de primer y segundo orden en el campo de la Ingeniería de Control a nivel universitario. El soporte teórico para el uso de simulaciones en la educación se deriva de la teoría cognitiva y la filosofía de las ciencias, mientras que el diseño del software sigue los principios de diseño de material multimedia, simulaciones por computadora y diseño instruccional. Algunos componentes clave que integra la herramienta virtual incluyen elementos de ludificación como cuestionarios o *quizzes* e insignias, y también una amplia variedad de componentes pedagógicos como tutoriales, instrucciones, material de referencia y ventanas emergentes de ayuda. Se espera que la experiencia reportada en el desarrollo del programa de simulación, junto con los principios de diseño presentados, sea de utilidad para otros investigadores en la creación de sus propias herramientas interactivas.

**Palabras clave:** Ingeniería, Modelos matemáticos, Innovaciones Educativas, Simulación, Laboratorios Virtuales.

## Introducción

El tipo de problemas que enfrentan las personas y las soluciones que toman pueden tener consecuencias a lo largo de la vida, como puede ser elegir una carrera. Otros problemas son más inmediatos, como decidir qué transporte tomar. Dada la importancia de la habilidad para resolver problemas, este es uno de los objetivos centrales en la educación (Jonassen, 2000). Sin embargo, existen características que hacen que los problemas sean más difíciles de resolver como es su dependencia a múltiples factores, las incertidumbres, las relaciones no lineales y la retroalimentación interna, entre otros (Seel et al., 2013). Como ejemplo, considere planificar unas vacaciones, factores como el presupuesto, las reservas de hotel y los precios de los vuelos pueden abrumar fácilmente la capacidad de la memoria. Ahora, en lugar de depender de la memoria o del lápiz y papel, considere usar una hoja de cálculo para registrar las diferentes opciones. En dicho caso la carga de trabajo se reduce y se pueden juzgar mejor las diferentes opciones y como consecuencia tomar decisiones más acertadas.

El ejemplo muestra el apoyo de un programa de computadora, específicamente una hoja de cálculo, para ayudar a la solución de un problema. Cuando la tecnología tiene la función de ayudar, apoyar o ampliar el proceso de pensamiento, se le llama herramienta mental o *mindtool* (Jonassen & Carr, 2000; Jonassen, 2000), y son el objeto investigación en este trabajo con su aplicación específica al estudio de sistemas dinámicos en Ingeniería de Control a nivel universitario.

La Ingeniería de Control o Control Automático, se ocupa de los principios y métodos para que el diseño de sistemas de ingeniería funcione de una manera deseable y esto se logra por medio de su adaptación automática a los cambios en el entorno (Albertos & Mareels, 2010; Murray, 2003; Nise, 2008; Ogata, 2010). La ingeniería de control es un área interdisciplinaria basada en rigurosas demostraciones matemáticas (Bencomo, 2004), y se encuentra omnipresente en el mundo real. Algunos ejemplos incluyen los teléfonos celulares, la calefacción, los aviones y satélites, etc. La ingeniería de control también ayuda en la comprensión de muchos fenómenos biológicos y físicos, como la propagación de enfermedades, el crecimiento de las plantas, la regulación de la insulina y muchos otros (Albertos & Mareels, 2010). Una característica común de los sistemas mencionados es que son sistemas dinámicos, es decir, su estado cambia con el tiempo o según otra variable (Nise, 2008; Ogata, 2010), y este es el aspecto fundamental del campo.

Debido a la importancia de la ingeniería de control en aplicaciones industriales, de transporte, médicas y militares, se ha puesto cierto énfasis en su enseñanza y aprendizaje (Bencomo, 2004; Kheir et al., 1996; Murray, 2003; A. Rossiter et al., 2020; J. A. Rossiter et al., 2018; Vrăna & Šulc, 2013). Sin embargo, su enseñanza no está libre de debate siendo una de las principales preocupaciones la relacionada con la naturaleza dual de la ingeniería de control; pues se trata de una ciencia tanto teórica como aplicada. Tal dicotomía da como resultado un problema pedagógico, pues no está resuelto que la enseñanza se enfoque a los aspectos físicos y disciplinarios o a los fundamentos matemáticos (Kheir et al., 1996; A. Rossiter et al., 2020).

## Importancia del tema

El aprendizaje y la enseñanza de la Ingeniería de Control requiere el uso de herramientas eficientes con el objetivo de mejorar la comprensión e intuición de sus elementos abstractos (Wittenmark et al., 1998). Tradicionalmente, la enseñanza se basa en la comprensión de formulaciones matemáticas complejas con la esperanza de que los alumnos y por tanto, futuros ingenieros, puedan aplicar ese conocimiento. Sin embargo, en la práctica, los alumnos no alcanzan necesariamente los niveles de comprensión necesarios (Bencomo, 2004).

El uso de tecnología y específicamente, el uso de computadoras ha recibido un interés importante en la comunidad de ingeniería de control con el objeto de mejorar la comprensión de los conceptos y principios subyacentes (Bencomo, 2004; Kheir et al., 1996; Murray, 2003; J. A. Rossiter et al., 2018). Los resultados de este esfuerzo se han concretizado en el desarrollo de materiales didácticos y métodos pedagógicos que incluye imágenes dinámicas y sistemas interactivos virtuales (Wittenmark et al., 1998), laboratorios virtuales y remotos (Bencomo, 2004), laboratorios a domicilio (Taylor et al., 2014) y simulaciones basadas en web (Fishwick, 1996). Esto concuerda con los puntos de vista de Jonassen (2000), utilizar las computadoras como herramientas mentales, es decir, que permita a los alumnos aprender con las herramientas y no aprender de ellas.

Por esta razón, el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar herramientas mentales diseñadas para mejorar la comprensión de los conceptos fundamentales de los sistemas dinámicos. En particular, las herramientas se centran en modelos de primer y segundo orden, pues son los más comunes en la industria y en entornos académicos.

## Antecedentes teóricos

La teoría de los modelos mentales (Johnson-Laird, 2004) considera que la cognición se logra a través de representaciones mentales donde los individuos organizan representaciones de su experiencia o pensamiento, de tal manera que resulten en una representación sistemática de esa experiencia o pensamiento, con el objetivo de comprenderla (Seel et al., 2013).

Los modelos mentales proporcionan una forma de comprender el mundo y resolver problemas; sin embargo, los límites naturales de la percepción y la finita capacidad de memoria dificultan el desempeño en la resolución de problemas complejos (Chao Rebolledo, 2015; Jonassen & Carr, 2000). En estos casos, el uso eficaz de la tecnología puede ayudar a reducir la carga cognitiva y ampliar las capacidades humanas. Las herramientas mentales constituyen un ejemplo del uso eficaz de la tecnología que pueden apoyar al pensamiento (Jonassen, 2000).

Las ideas discutidas anteriormente son relevantes para la enseñanza y el aprendizaje de la ingeniería de control por las siguientes razones: (1) los métodos empleados son representaciones e idealizaciones matemáticas abstractas complejas del mundo real (Kheir et al., 1996), y (2) al mismo tiempo, estos métodos tienen sus

raíces en la solución de problemas prácticos (Bencomo, 2004). El uso de la tecnología y, en particular, las herramientas mentales pueden ayudar a cerrar la brecha entre la teoría y la práctica mediante la construcción de representaciones mentales más precisas de los conceptos, principios y métodos utilizados en la ingeniería de control.

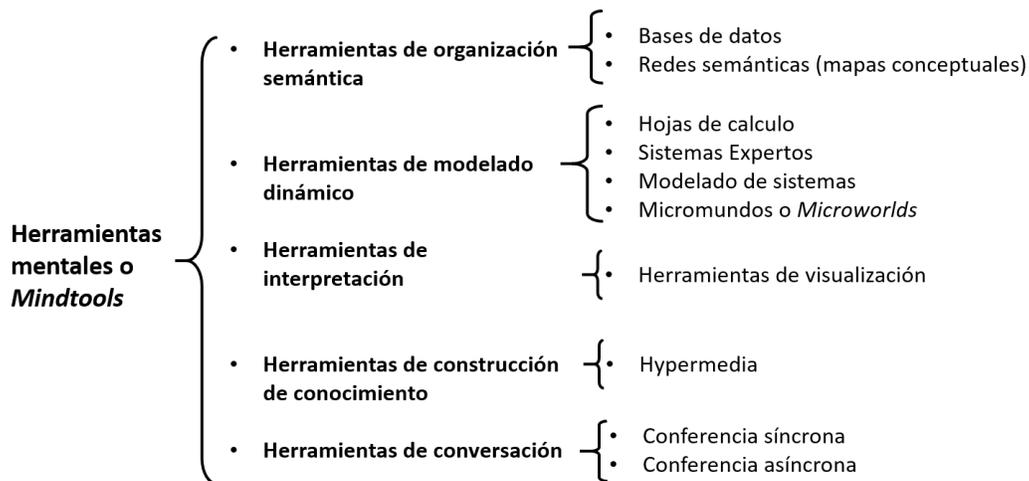
Algunos objetivos educativos de la educación en ingeniería de control son proporcionar a los estudiantes un sólido apoyo teórico y buenas habilidades de ingeniería (Wittenmark et al., 1998). La tecnología ha demostrado potencial en el apoyo al proceso de aprendizaje y se ha resumido en algunas publicaciones (Bencomo, 2004; Heradio et al., 2016; Kheir et al., 1996; Murray, 2003). Hoy en día, es una práctica común integrar simulaciones por computadora y prácticas de laboratorio en cualquier curso de ingeniería de control (Rossiter et al., 2020; Rossiter et al., 2018).

Por otro lado, el uso de tecnología *per se* no garantiza una mejor comprensión si, por ejemplo, los modelos educativos tradicionales simplemente se replican utilizando un nuevo medio: presentaciones de PowerPoint en lugar de un pizarrón (Bencomo, 2004). Por tanto, para ser eficaz, el uso de la tecnología debe fomentar el desarrollo de procesos de pensamiento de orden superior. Jonassen (2000) sostiene que la tecnología como herramienta mental puede alcanzar el pensamiento crítico y potencialmente puede mejorar la comprensión de los principios y métodos de la educación de ingeniería de control.

### **Herramientas mentales (mindtools)**

Término acuñado por Jonassen (1996) para referirse a una serie de herramientas cognitivas que apoyan, guían y mejoran el proceso de pensamiento. La clasificación de las herramientas mentales se muestra en la figura 1. Las herramientas de modelado dinámico son las más relevantes para la ingeniería de control pues ayudan en la representación de las relaciones entre las ideas matemáticas o los componentes en un sistema, pero también permiten construir simulaciones dinámicas. Cada herramienta mental en esta categoría es más adecuada para un tipo de aplicación que para otras, por lo tanto, desarrollan habilidades de pensamiento específicas. La categoría de modelado de sistemas requiere que los estudiantes desarrollen representaciones mentales del fenómeno bajo estudi. En la ingeniería de control, existen varios programas que permiten el modelado de sistemas dinámicos como MATLAB (MathWorks), Octave o SciLab. Las simulaciones proporcionan la actividad intelectual más completa que puede involucrar a los estudiantes porque al construir un modelo, les permite representar su conocimiento como relaciones semánticas y cuantitativas complejas de la realidad (Spitulnik, 1995).

Figura 1. Clasificación de las herramientas mentales o mindtools



Un micromundo o *Microworld* es un entorno que permite al alumno explorar y manipular un universo gobernado por reglas, sujeto a suposiciones y restricciones específicas, que sirve como una representación analógica de algunos aspectos del mundo natural (Pea, 1985). En la ingeniería de control, la herramienta más cercana a los micromundos son los laboratorios virtuales, ya que hay libertad para la manipulación; sin embargo, la creación de objetos no es posible (Heradio et al., 2016). Técnicamente el software desarrollado en este trabajo entra en la categoría de micromundo.

### Fundamentación teórica para el uso de simulaciones en educación

#### *Perspectiva desde la filosofía de las ciencias*

La importancia de las simulaciones para la ciencia es innegable. Tomemos, por ejemplo, los avances recientes en la comprensión del mecanismo de infección de Covid-19 (Garvin et al., 2020), que implicó la simulación de 2.5 millones de combinaciones genéticas. La lista de ejemplos es enorme y se encuentran presentes en multitud de disciplinas científicas (Hartmann, 1996). A pesar de la importancia, el mismo autor sostiene que los filósofos de la ciencia han ignorado las simulaciones, a excepción de Mario Bunge (Bunge, 1967, 1973).

Un modelo es un esquema teórico de un sistema o realidad compleja (Real Academia Española., 2014). Un modelo es estático si las suposiciones hechas sobre modelo están en reposo, o dinámico si las suposiciones implican la evolución del sistema o proceso en el tiempo (Ogata, 2010). Una simulación está estrechamente relacionada con los sistemas dinámicos y puede tener varias funciones (Hartmann, 1996):

- Como técnica: las simulaciones pueden ayudar a explorar la dinámica detallada de un proceso real cuando no es posible a través de experimentos, por ejemplo, el estudio de galaxias o átomos.

- Como herramienta heurística: la ejecución de múltiples simulaciones puede revelar posibles regularidades o patrones en los resultados que pueden servir como suposición para nuevos modelos más simplificados.
- Sustituto de un experimento: una simulación puede explorar situaciones que no se pueden estudiar por medios experimentales (e. g. masa negativa, expansión de galaxias).
- Herramientas para experimentadores: las simulaciones pueden apoyar experimentos; por ejemplo, optimizar un experimento simulando diferentes equipos para obtener conocimiento sobre costos y tiempos.
- Herramienta pedagógica: las simulaciones también pueden ser útiles para instruir a los estudiantes; por ejemplo, les permite "jugar" con un proceso o sistema dinámico y obtener retroalimentación visual inmediata. Los beneficios pueden ser una mayor comprensión del proceso subyacente y el desarrollo de la intuición.

### *Perspectiva desde la psicología cognitiva*

La teoría del aprendizaje multimedia fue desarrollada por Mayer (1989, 2002, 2014) a partir de la teoría de la codificación dual de Paivio (1975). Se basa en tres principios sobre el procesamiento de información (Mayer, 2014a):

- Procesamiento dual: las personas tienen canales separados para procesar material verbal y visual.
- Capacidad limitada: es posible almacenar solo una cantidad finita de información.
- Procesamiento activo: el aprendizaje significativo ocurre cuando las personas pueden interactuar con la información, organizarla e integrarla con sus estructuras mentales.

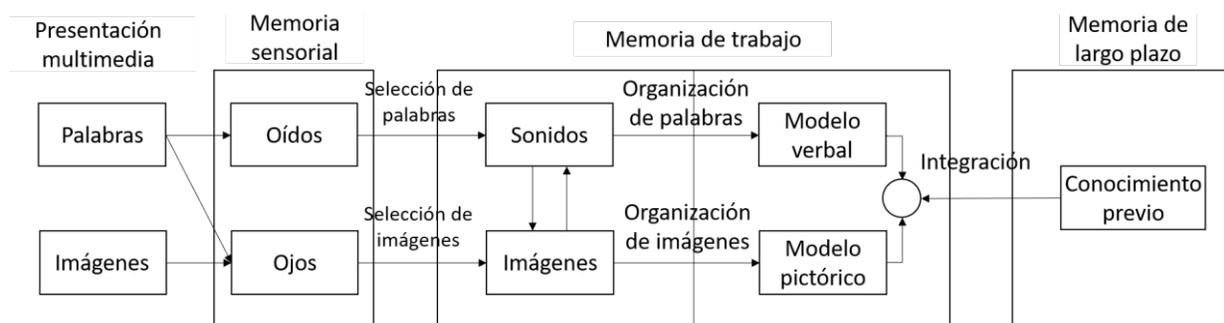
El modelo cognitivo se muestra en la figura 2 y consiste de dos canales (verbal y visual), tres almacenes de memoria (sensorial, de trabajo y de largo plazo) y cinco procesos cognitivos representados por las flechas (seleccionar palabras, seleccionar imágenes, organizar palabras, organizar imágenes e integración) (Mayer, 2014a). El proceso de aprendizaje comienza cuando el estudiante recibe un mensaje instruccional. La información auditiva y/o visual se registra y se mantiene en la corteza cerebral correspondiente durante un breve período. Si el alumno escucha el sonido o las imágenes, parte de la información se transfiere a la memoria de trabajo para su procesamiento adicional. En la memoria de trabajo, el alumno organiza la información en una representación cognitiva coherente. Finalmente, se establecen conexiones entre ciertos aspectos de la información verbal o visual con conocimientos previos activados desde la memoria a largo plazo (Mayer, 2014a). Bajo este modelo y a partir de investigaciones empíricas Mayer (2014b) estableció los principios para el desarrollo de herramientas multimedia, los cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Principios para el diseño de materiales multimedia

Principios	El aprendizaje de es mejor cuando...
Multimedia	la información se presenta con imágenes, en lugar de solo texto.
Continuidad	el texto y las imágenes se presentan uno al lado del otro.
Modalidad	las imágenes complejas se explican utilizando audio en lugar de texto.
Repetición	las imágenes complejas se explican mediante texto o audio, pero no al mismo tiempo.
Coherencia	se evitan imágenes, texto o audio extraños.
Personalización	los usuarios tienen la posibilidad de compartir información a través de herramientas de conversación.
Formación	los conceptos clave se explican antes de la ejecución de las tareas.

Fuente: Chao Rebolledo, 2015; Mayer, 2014b.

Figura 2. Modelo cognitivo de aprendizaje multimedia



Fuente: Mayer, 2014a.

## Desarrollo de la herramienta virtual interactiva

En este trabajo las simulaciones se han abordado desde distintas perspectivas de las que se pueden extraer algunas características generales, por ejemplo:

- Las simulaciones no son solo imágenes; transmiten significado (Bunge, 1973; Hartmann, 1996)
- Las simulaciones son interactivas, es decir, no solo deben verse sino también manipularse (Jonassen, 1996).
- La simulación son representaciones de procesos reales (Kheir et al., 1996; Ogata, 2010)

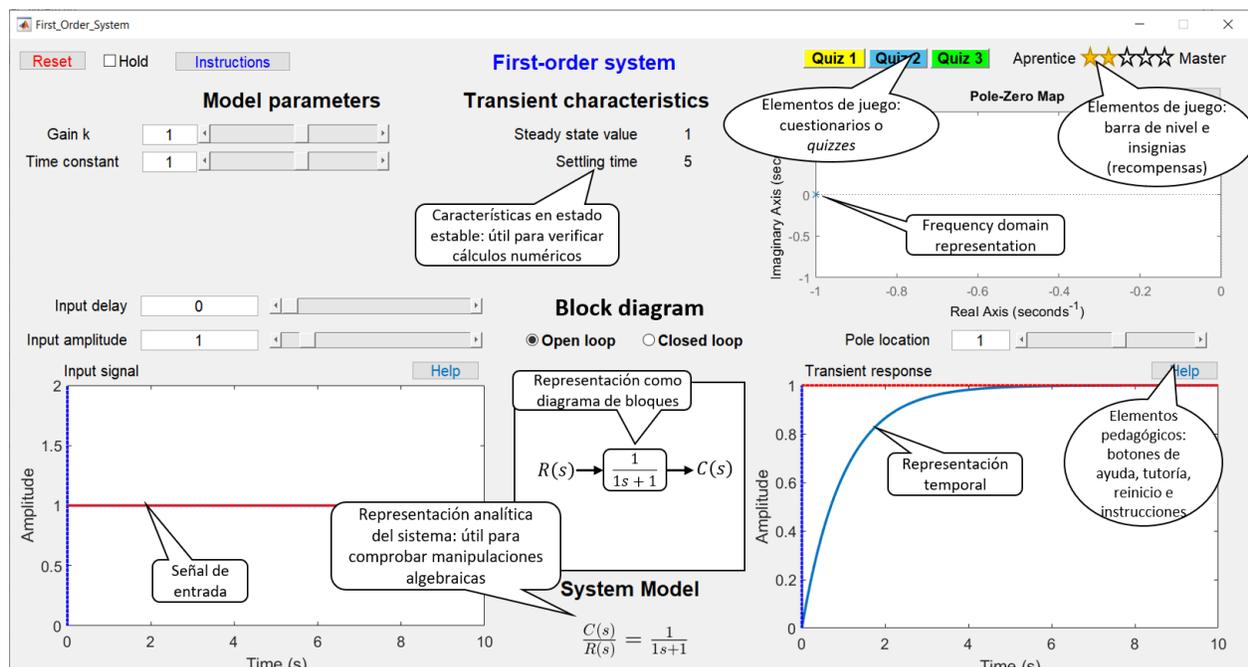
Desde una perspectiva de diseño, tres son los componentes básicos de una simulación interactiva (Aldrich, 2005): (1) la *simulación*, se relaciona con el programa o la interfaz, (2) el *diseño tecno-pedagógico*, aporta el modelo científico y la planeación didáctica, y (3) las *características de ludificación o juego* las cuales generan los escenarios y el contexto para el aprendizaje. La conexión entre estos elementos se muestra en la figura 3 (Aldrich, 2005; Chao Rebolledo, 2015) y sirvió de base para el diseño de la herramienta de software, la cual fue escrita en Matlab (versión 2018, MathWorks) y se muestra en la figura 4. Los detalles sobre la inclusión de cada uno de los componentes mostrados en la figura 3 se describe a continuación.

Figura 3. Elementos de una simulación educativa



Fuente: Adaptado de Aldrich, 2005; Chao Rebolledo, 2015.

Figura 4. Pantalla de la herramienta de simulación interactiva



Algunos elementos han sido resaltados y comentados. Ver la descripción en el texto (Imagen creada por el autor).

## Elementos de simulación

El componente de simulación está relacionado con los objetos de interacción los cuales permiten el descubrimiento, la experimentación y la exploración de la herramienta. En este paso se define el género de la simulación (historias de ramificación, producto virtual, hoja de cálculo interactiva, simulador de vuelo, etc.), junto con los elementos característicos. Un aspecto que considerar para el diseño de una simulación en ingeniería es que ésta debe de ser precisa y estar alineada con el contexto. Por este motivo, la herramienta se diseñó en forma de imagen interactiva que incluye los típicos gráficos que se muestran en los libros de texto de ingeniería de control, pero con la posibilidad de modificar los parámetros a voluntad.

El componente de simulación también define si el aprendizaje se trata de contenido cíclico o lineal. El primero permite al usuario practicar su ejecución, por ejemplo, alcanzar una meta en un tiempo determinado; mientras que las estrategias lineales ayudan a aprender conocimientos procedimentales (Aldrich, 2005). En el contexto de la ingeniería de control, se adaptaron algunos ejercicios en forma de cuestionarios o *quizzes* (detallados en el componente pedagógico) para relacionar la interacción con los pasos para el análisis de sistemas dinámicos de primer y segundo orden. La herramienta proporciona un espacio para la exploración y esta es la característica que permite a los usuarios aprender sobre el sistema.

## Elementos de juego o ludificación

Estos elementos proporcionan interacciones familiares y entretenidas. Su inclusión aumenta el disfrute derivado de la experiencia educativa, lo que incentiva al usuario a dedicar más tiempo a la actividad (Aldrich, 2005). Algunos elementos específicos de los juegos se incluyeron en forma de cuestionarios o *quizzes* y recompensas o insignias. Específicamente, se crearon tres cuestionarios adaptando ejercicios de libros de texto de ingeniería de control en orden creciente de dificultad (Guzmán Sánchez et al., 2012; Ogata, 2010). La resolución de cada cuestionario otorga recompensas en forma de estrellas y la finalización satisfactoria de todos los cuestionarios proporciona la insignia de "Gran Maestro de Control".

## Elementos pedagógicos

Los objetivos de aprendizaje son el componente más importante en esta categoría y la herramienta permite diseñar distintas secuencias didácticas en función de la competencia a desarrollar, éstas pueden ser manipulaciones algebraicas, cálculos numéricos o gráfica de funciones. Otros elementos pedagógicos que se incluyeron son los siguientes: fichas técnicas, ejercicios de "andamiaje", capacidad de diagnóstico por medio de los *quizzes*, botón de instrucciones, visualización de relaciones (múltiples representaciones del modelo), y botones de ayuda por nombrar algunos. En particular para el diseño se incluyeron las siguientes características:

- a) Proporciona cuatro representaciones del mismo sistema dinámico: representación analítica, simbólica (diagrama de bloques), en el dominio del tiempo (o temporal) y en el dominio de la frecuencia (o espectral).

La representación analítica es útil para manipulaciones algebraicas, mientras que las dos representaciones gráficas proporcionan una interpretación visual del comportamiento del sistema. El diagrama de bloques es una representación visual del modelo y sus relaciones con otros componentes. El objetivo es resaltar la equivalencia de los diferentes formatos para describir un mismo sistema.

- b) Proporciona las características estáticas del sistema, es decir, el valor de estado estable y el tiempo de estabilización. El objetivo es ofrecer al alumno la posibilidad de verificar sus cálculos numéricos.
- c) Tiene una casilla de verificación 'Hold' que permite mostrar múltiples sistemas simultáneamente, lo que facilita las comparaciones entre diferentes modelos.
- d) Proporciona una representación analítica del sistema que permite verificar las manipulaciones algebraicas.

De la misma forma, se creó otro programa para la simulación de sistemas dinámicos de segundo orden, el cual comparte las mismas características de diseño que el programa descrito en esta sección y por lo tanto se omite su descripción.

## Conclusiones

En este trabajo se presenta una herramienta de simulación virtual para la enseñanza y el aprendizaje de conceptos de ingeniería de control y en particular para apoyar en el estudio de sistemas dinámicos de primer y segundo orden. El desarrollo de la aplicación se basa en un sólido soporte teórico desde la perspectiva de la filosofía de las ciencias (Hartmann, 1996) y la teoría cognitiva (Johnson-Laird, 2004; D. Jonassen & Carr, 2000; D H Jonassen, 2000; David H Jonassen et al., 1999; Mayer, 2014b). En cuanto al diseño, la herramienta interactiva sigue los principios de creación de material multimedia (Mayer, 2014b), herramientas mentales (D. Jonassen & Carr, 2000) y de diseño de simulaciones educativas por ordenador (Aldrich, 2005; Chao Rebolledo, 2015). De esta forma la herramienta de simulación interactiva incluye elementos de ludificación y pedagógicos con el propósito de diseñar secuencias didácticas que sean atractivas e interesantes para los estudiantes y que al mismo tiempo permitan alcanzar los objetivos de aprendizaje. La experiencia reportada en este trabajo puede ser de utilidad a otros investigadores para el desarrollo de software de simulación en otros campos de la ingeniería. Como trabajo futuro se considera la evaluación de la herramienta interactiva en el aula una vez que se levanten las restricciones debidas a la pandemia de COVID-19.

## Referencias

- Albertos, P., & Mareels, I. (2010). Feedback and Control for Everyone. En *Feedback and Control for Everyone*. Springer Berlin Heidelberg.
- Aldrich, C. (2005). *Learning by Doing: A Comprehensive Guide to Simulations, Computer Games, and Pedagogy in e-Learning and Other Educational Experiences*. Pfeiffer.
- Bencomo, S. D. (2004). Control learning: present and future. *Annual Reviews in Control*, 28(1), 115–136.
- Bunge, M. (1967). *Scientific Research II: The Search for Truth*. Springer.
- Bunge, M. (1973). Analogy, Simulation, Representation. En *Method, Model and Matter* (pp. 114–130). Springer Netherlands.
- Chao Rebolledo, C. (2015). Simulaciones digitales interactivas en la enseñanza y el aprendizaje de la ciencias naturales. En F. Diaz Barriga (Ed.), *Experiencias de aprendizaje mediadas por las tecnologías gitiales* (pp. 211–231). Newton.
- Fishwick, P. A. (1996). Web-based simulation: some personal observations. *Winter Simulation Conference Proceedings*.
- Garvin, M. R., Alvarez, C., Miller, J. I., Prates, E. T., Walker, A. M., Amos, B. K., Mast, A. E., Justice, A., Aronow, B., & Jacobson, D. (2020). A mechanistic model and therapeutic interventions for COVID-19 involving a RAS-mediated bradykinin storm. *ELife*, 9.
- Guzmán Sánchez, J. L., Costa Castelló, R., Berenguel Soria, M., & Dormido Bercomo, S. (2012). *Control automático con herramientas interactivas*. Pearson Education.
- Hartmann, S. (1996). The World as a Process. In R. Hegselmann, U. Mueller, & K. G. Troitzsch (Eds.), *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View* (pp. 77–100). Springer Netherlands.
- Heradio, R., de la Torre, L., & Dormido, S. (2016). Virtual and remote labs in control education: A survey. *Annual Reviews in Control*, 42, 1–10.
- Johnson-Laird, P. N. (2004). Psychology of Reasoning. In K. Manktelow & M. C. Chung (Eds.), *Psychology of Reasoning: Theoretical and Historical Perspectives*. Psychology Press.
- Jonassen, D., & Carr, C. (2000). *Mindtools: Affording Multiple Knowledge Representations for Learning*.
- Jonassen, D H. (1996). *Computers in the Classroom: Mindtools for Critical Thinking*. Merrill.
- Jonassen, D H. (2000). *Computers as Mindtools for Schools: Engaging Critical Thinking*. Merrill.
- Jonassen, David H, Peck, K. L., & Wilson, B. G. (1999). *Learning with Technology: A Constructivist Perspective*. Merrill.
- Kheir, N. A., Åström, K. J., Auslander, D., Cheok, K. C., Franklin, G. F., Masten, M., & Rabins, M. (1996). Control systems engineering education. *Automatica*, 32(2), 147–166.
- Mayer, R. E. (1989). Systematic thinking fostered by illustrations in scientific text. *Journal of Educational Psychology*, 81(2), 240–246.
- Mayer, R. E. (2002). *Multimedia learning* (Vol. 41, pp. 85–139). Academic Press.
- Mayer, R. E. (2014a). Multimedia Instruction. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Elen, & M. J. Bishop (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 385–399). Springer New York.
- Mayer, R. E. (2014b). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (R. E. Mayer (ed.); Second Edi). New York : Cambridge University Press, 2014.

- Murray, R. M. (2003). Future Directions in Control, Dynamics, and Systems: Overview, Grand Challenges, and New Courses. *European Journal of Control*, 9(2–3), 144–158.
- Nise, N. S. (2008). *Control systems engineering / Norman S. Nise*. (5th ed., I). Hoboken, N.J.: Wiley .
- Ogata, K. (2010). *Modern control engineering* (5th ed.). Prentice Hall.
- Paivio, A. (1975). Coding Distinctions and Repetition Effects in Memory. In *Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory* (pp. 179–214).
- Pea, R. D. (1985). Integrating human and computer intelligence. *New Directions for Child and Adolescent Development*, 1985(28), 75–96.
- Real Academia Española., R. A. (2014). *Diccionario de la lengua española*. Real Academia Española.
- Rossiter, A., Serbezov, A., Visioli, A., Žáková, K., & Huba, M. (2020). A survey of international views on a first course in systems and control for engineering undergraduates. *IFAC Journal of Systems and Control*, 13, 100092.
- Rossiter, J. A., Pasik-Duncan, B., Dormido, S., Vlacic, L., Jones, B., & Murray, R. (2018). A survey of good practice in control education. *European Journal of Engineering Education*, 43(6), 801–823.
- Seel, N. M., Ifenthaler, D., & Pirnay-Dummer, P. (2013). Mental models and their role in learning by insight and creative problem solving. En *Learning, Problem Solving, and Mindtools* (p. 25).
- Taylor, B., Eastwood, P., & Jones, B. L. (2014). Development of a Low-cost, Portable Hardware Platform to Support Hands-on Learning in the Teaching of Control and Systems Theory. *Engineering Education*, 9(1), 62–73.
- Vrāna, S., & Šulc, B. (2013). Saturation in Engineering Simulation. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(17), 102–107.
- Wittenmark, B., Haglund, H., & Johansson, M. (1998). Dynamic pictures and interactive learning. *IEEE Control Systems*, 18(3), 26–32.