

Empresa Virtual Productora de Bienes y/o Servicios Modelada Mediante Sistemas Dinámicos en Espacios de Estados

S. Álvarez Rodríguez

Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez,
Unidad Académica Lagos de Moreno, Jalisco, México.

sergio.alvarez@lagos.tecmm.edu.mx

Resumen—En este trabajo se presenta el modelado matemático de una empresa virtual conjuntamente con un ejemplo de implementación mediante software especializado. La empresa que se modela tiene la posibilidad de fabricar bienes de producción y/o generar servicios de consumo, en dónde los niveles de ventas están íntimamente relacionados con la calidad del producto y/o servicio prestado. En este sistema se incluye una acción de control la cual recibe información de retroalimentación que le permite conocer los estados que guarda el sistema en cualquier instante del tiempo, y tomar acciones correctivas de ser necesario. En la implementación se incluyen perturbaciones externas al sistema y funciones de ruido para que el modelado del sistema resulte más realista. Se ofrecen resultados de simulación los cuales muestran la efectividad de las acciones de control sobre el sistema y el comportamiento de la calidad del producto y/o servicio frente al volumen de ventas. Los resultados de este trabajo tienen aplicación directa en procesos de investigación en la Gestión e Innovación Empresarial.

Palabras clave—Empresa virtual, sistemas dinámicos, sistemas de control.

Abstract— This work presents the mathematical modeling of a virtual company along with an implementation example using specialized software. The company being modeled has the capability to manufacture production goods and/or provide consumer services, where sales levels are closely related to the quality of the product and/or service provided. This system includes a control action that receives feedback information, allowing it to monitor the system's states at any given time and take corrective actions if necessary. The implementation incorporates external disturbances to the system and noise functions to make the system modeling more realistic. Simulation results are provided, showing the effectiveness of the control actions on the system and the behavior of product and/or service quality in relation to sales volume. The results of this work have direct applications in research processes in Business Management and Innovation.

Keywords— Virtual company, dynamic systems, control systems.

I. INTRODUCCIÓN

Implementar una empresa virtual mediante software especializado tiene varias ventajas importantes, especialmente si se está buscando simular el comportamiento de una empresa que produce bienes y/o servicios. Aquí algunas de las principales ventajas:

- Reducción de Costos Iniciales: Utilizar una empresa virtual puede reducir los costos asociados con el establecimiento de una empresa física, como la compra de equipos, alquiler de espacio y contratación de personal.
- Pruebas y Simulaciones: Puedes experimentar con diferentes estrategias de negocio, procesos operativos y modelos de producción sin los riesgos y costos asociados con un entorno real. Esto es especialmente útil para probar nuevas ideas.
- Análisis de Desempeño: El software especializado puede proporcionar análisis detallados del desempeño de la empresa, incluyendo métricas financieras, operativas y de mercado. Esto te permite entender mejor cómo las decisiones afectan a la empresa.
- Capacitación y Desarrollo: Es una herramienta excelente para capacitar a empleados o estudiantes en la gestión empresarial, permitiendo que practiquen la toma de decisiones en un entorno controlado.
- Flexibilidad y Escalabilidad: Se pueden ajustar fácilmente los parámetros y variables de la empresa virtual para simular diferentes escenarios y condiciones del mercado, lo que permite adaptar estrategias de manera ágil.
- Innovación y Creatividad: Un entorno virtual permite explorar y experimentar con innovaciones y cambios en los procesos sin las limitaciones y riesgos de un entorno real.
- Seguridad y Gestión de Riesgos: Permite identificar y gestionar riesgos potenciales antes de implementarlos en un entorno real. Se pueden probar las respuestas a crisis o cambios en el mercado sin consecuencias negativas reales.
- Eficiencia en la Toma de Decisiones: La simulación ayuda a mejorar la toma de decisiones al ofrecer datos y análisis basados en modelos y escenarios previos, lo que puede llevar a decisiones más informadas y estratégicas.
- Benchmarking: Puedes comparar el desempeño de tu empresa virtual con otros modelos o empresas, identificando las mejores prácticas y áreas de mejora.
- Acceso a Información y Recursos: El software especializado a menudo proporciona acceso a una gran cantidad de datos y recursos que pueden no estar fácilmente

disponibles en un entorno físico, como informes de mercado, tendencias de la industria y análisis competitivos.

Existen actualmente obras importantes que tratan acerca del tema que se estudia:

En [1], se ofrece una visión integral sobre cómo las simulaciones de negocios se utilizan en la formación de directivos y cómo implementarlas efectivamente.

En [2], se exploran diferentes tipos de juegos de simulación empresarial y su uso en el entorno educativo y profesional.

En [3], se enfoca en el uso de simulaciones empresariales y el aprendizaje experiencial en la educación en administración de empresas.

En [4], Proporciona una guía práctica sobre cómo diseñar y desarrollar simulaciones empresariales efectivas.

En [5], se centra en la simulación empresarial en entornos virtuales y cómo los gerentes pueden utilizar estas herramientas para la toma de decisiones.

En [6], se analiza cómo los juegos de simulación empresarial pueden mejorar los resultados de aprendizaje en la educación superior.

En [7], se hace una revisión sobre la efectividad de los juegos de simulación empresarial en la educación en gestión.

En [8], se explora cómo las empresas virtuales y las simulaciones están cambiando el enfoque de la educación empresarial.

En [9], se ofrece una guía práctica sobre cómo diseñar e implementar simulaciones empresariales para maximizar su efectividad.

En [10], se analiza cómo los juegos de simulación empresarial pueden ayudar a desarrollar habilidades de pensamiento estratégico y toma de decisiones.

En el presente trabajo **se propone un modelo matemático dinámico en forma de espacios de estados**, el cual se desarrolla en la sección II, y se ejemplifica en la sección III.

II. EMPRESA VIRTUAL

La validación del método para evaluar la capacidad del proceso puede abordarse a través de dos enfoques principales:

- Análisis estadístico.
- Pruebas matemáticas rigurosas.

A continuación, se desarrolla un concepto de empresa virtual que puede ser usado, entre otras cosas, para el estudio y la validación del índice de capacidad del proceso propuesto.

Hasta donde sabemos, la literatura actual no documenta la implementación de este enfoque para el estudio y la validación de la capacidad del proceso ni de otros métodos

utilizados en la gestión de calidad industrial, por lo que se realiza la siguiente propuesta.

Consideremos el sistema dinámico no lineal expresado como,

$$\frac{d}{dt}x_1 = f_1(x_i, \sigma_i, \mu_i) : \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt}x_{n-1} = f_{n-1}(x_i, \sigma_i, \mu_i)$$

$$\frac{d}{dt}x_n = f_n(x_i, \sigma_i, \mu_i) + g(x_i, \sigma_i, \mu_i)U$$

$$y = [x_1, \dots, x_n]^T$$

donde $i = 1 \dots n$, representa la cantidad de estados del sistema y x_i representa el i -ésimo estado de la planta a controlar. σ_i representa la desviación estándar del i -ésimo proceso y μ_i es la media del i -ésimo proceso. U representa la señal de control o acción correctiva y y representa el vector de salida que contiene los estados del sistema.

La acción correctiva que proporciona la señal de control, es función de las variables de estado y del tiempo, pudiéndose representar mediante

$$U = U(x_1, \dots, x_n, t) \quad (2)$$

dónde el tiempo $t \geq 0$ es una variable continua.

III. IMPLEMENTACIÓN

Tradicionalmente, los indicadores de capacidad del proceso y muchas otras técnicas empleadas en la ingeniería industrial para la mejora de procesos se evaluaban aplicándolos en procesos industriales reales. Sin embargo, este enfoque consumía grandes cantidades de tiempo, recursos financieros y esfuerzo. Hoy en día, los avances en tecnología han hecho posible implementar estos métodos en entornos virtuales, lo que resulta en un ahorro significativo de recursos al explorar propuestas para mejorar la calidad del producto. Específicamente, este trabajo se concentra en establecer un entorno industrial virtual para estudiar y validar el rendimiento del índice de capacidad del proceso multidimensional propuesto. Para este propósito, se propone un sistema dinámico para modelar el comportamiento de las variables en cuestión, junto con sus correspondientes parámetros de ajuste, durante la implementación de la capacidad del proceso. Para modelar el entorno industrial virtual, consideremos el siguiente sistema con dos estados,

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}x_1 &= a_1x_2^{1/2} \\ \frac{d}{dt}x_2 &= a_2\frac{1}{x_1} + GU \\ y &= [x_1, x_2]^T \\ x_1 &= r - x_r + f(t) \\ r &= 0.3t + 12 \end{aligned} \quad (3)$$

donde x_1 representa la cantidad de ventas o cualquier tipo de ganancia de la empresa, x_2 representa la calidad del producto

o servicio, $\frac{d}{dt}x_1$ es la primera derivada temporal de x_1 , $\frac{d}{dt}x_2$ es la primera derivada temporal de x_2 , G es la ganancia del controlador, mientras que el control del proceso está representado por U , r es el valor de referencia a seguir, x_r representa el valor actual de las ventas, y $f(t)$ es una señal de ruido blanco con semilla [23341] y una potencia de 0.001 amplificada 0.05 veces.

En este sistema dinámico, se consideran dos estados principales: la cantidad de ventas y la calidad del producto o servicio. Estas dos variables están interconectadas, lo que significa que los cambios en la cantidad de ventas a lo largo del tiempo están directamente vinculados a la calidad del producto. Por el contrario, las alteraciones en la calidad del producto son inversamente proporcionales a la cantidad de ventas. Esencialmente, a medida que disminuye la cantidad de ventas, la variabilidad en la calidad del producto aumenta. En este modelo, U significa cualquier acción tomada para controlar el sistema, influyendo en uno o ambos estados (x_1 y x_2). Estas acciones podrían incluir inversiones en publicidad para aumentar las ventas o capacitación del personal para mejorar la calidad del producto. La variable y representa el comportamiento de salida, que abarca tanto las ventas como la calidad del producto.

Además, el sistema dinámico caracteriza el comportamiento de las ventas como la diferencia entre un nivel de ventas deseado (referencia r) y las ventas reales (x_r). Esta diferencia se modifica mediante una señal de ruido, que toma en cuenta eventos imprevistos que pueden impactar las ventas, ya sea positiva o negativamente. Tales eventos podrían incluir el brote de una pandemia o variables cotidianas como las condiciones meteorológicas. Finalmente, el modelo matemático representa la referencia como una línea recta con una pendiente positiva t , reflejando la intención de que las ventas aumenten constantemente con el tiempo.

Para esta implementación, se elige una ecuación de control de estructura variable conocida como sistema de modo deslizante de segundo orden del tipo Twisting, porque el

sistema (3) también es un sistema dinámico de segundo orden. Así, se propone el siguiente algoritmo de modo deslizante para controlar el sistema (3),

$$U = -\frac{k|x_1|+S}{1+w} \operatorname{sgn}(x_1) - w \frac{k|x_1|+S}{1+w} \operatorname{sgn}(x_2) \quad (4)$$

donde w , k y S son parámetros de control para todo $0 \leq w \leq 10$, y $\operatorname{sgn}(\cdot)$ es la función signo. La prueba formal de (4) en el control de sistemas dinámicos de segundo orden se da en el Teorema 1 en [11], donde se concluye la estabilidad global con convergencia en tiempo finito, otro diseño de control similar se puede encontrar en [12].

Esta ley de control genera una función no continua por tramos que se asemeja estrechamente al comportamiento de control del mundo real. Notablemente, la señal de control es directamente proporcional a la cantidad de ventas pero está influenciada por los signos (aumento o disminución) tanto de la calidad como de las ventas.

El sistema modelado por las ecuaciones (3)–(4) se implementa luego en el software Simulink de MATLAB. Esta implementación permite el estudio, análisis, observación y validación del rendimiento del sistema a través de los resultados de simulación. El programa puede ser ejecutado por cualquier persona con acceso al software mencionado, haciendo de este ejemplo de implementación un caso virtual práctico que puede ser reproducido bajo diversas condiciones paramétricas.

En la Figura 1, se presenta el diagrama de bloques raíz, que contiene un subsistema de control que recibe entradas de error de cada uno de los estados del sistema. La salida de este subsistema es U , que sirve como entrada para el subsistema de la empresa (representado en color rosa). Los valores de x_1 y x_2 pueden ser extraídos de este subsistema usando instrucciones "to workspace", representadas por los bloques de color verde. Para simular condiciones de trabajo más realistas, se introduce una señal de ruido en el bus de x_1 . Finalmente, un subsistema que contiene la función de referencia se etiqueta como la cinemática del sistema.

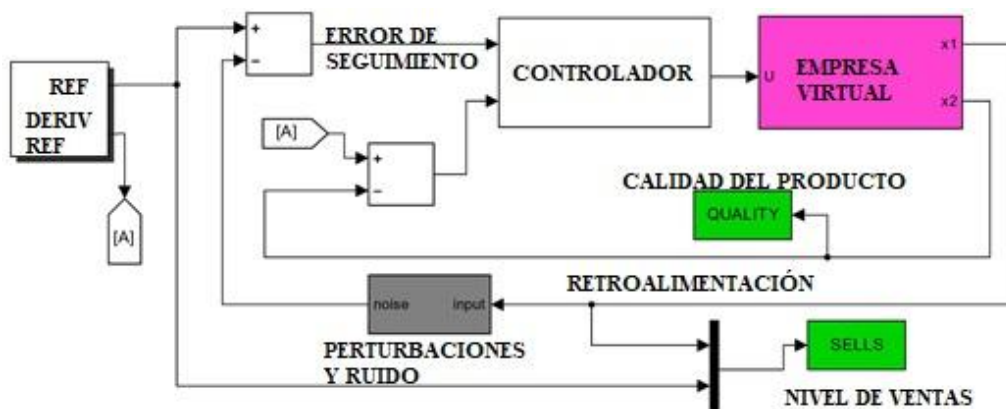


Fig. 1. Ejemplo de implementación de la empresa virtual en su ambiente de control.

IV. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Utilizando el sistema (3), se obtiene una base de datos con 333 datos individuales de calidad del producto. Los parámetros con los que se obtuvieron estos resultados son los siguientes: Inercia = 4.5; ruido = 0.6; $T=0.3$ (tiempo de muestra para el ruido); y las condiciones iniciales para los primeros y segundos integradores son 0 y 2, respectivamente; los límites superior e inferior para la función de saturación (del control) son 50 y 0, respectivamente. Aunque los valores de los parámetros han sido definidos, el producto que se está fabricando no está especificado en este ejemplo, ni se detalla la forma de realizar las mediciones de calidad. Sin embargo, el lector puede adaptar este ejemplo a un caso real cambiando los parámetros y utilizando datos reales que midan la calidad del producto o servicio. La Fig. 2, muestra los valores de calidad en su eje de ordenadas y los primeros 136 días en el eje de las abscisas que corresponden a la cantidad de días simulados.

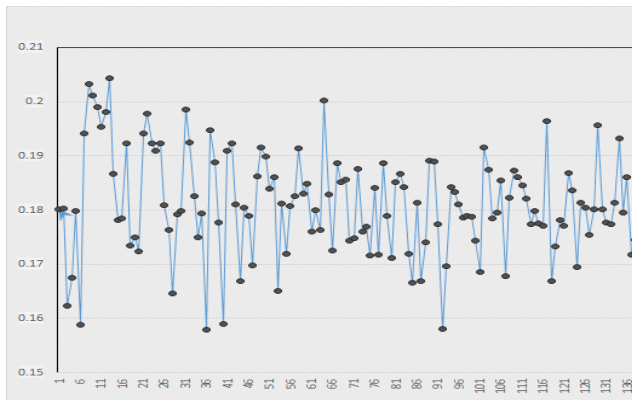


Fig. 2. Calidad del producto con las primeras 136 muestras (días) de los 333 obtenidos en total.

CONCLUSIÓN

La implementación de una empresa virtual mediante software especializado ofrece una forma práctica y económica de simular y analizar operaciones empresariales, lo que facilita la capacitación, la toma de decisiones informadas y la innovación. El modelo que se propone facilita la obtención de información de negocios, utilizando técnicas de simulación basadas en sistemas dinámicos en el formato de espacios de estado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales al Instituto Tecnológico de Jalisco JMMPyH, unidad académica Lagos de Moreno por apoyar estos trabajos de investigación aplicada a procesos industriales y empresariales.

REFERENCIAS

- [1] M. I. Puebla Sánchez e I. Temiño Aguirre. "La importancia de los Centros de Simulación Empresarial en la formación universitaria." *International Journal of Information Systems and Software Engineering for Big Companies: IJISEBC* 5.2 No. 2, pp. 115-122, 2018. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6739291>
- [2] S. E. M. Pinto Ishihara, A. Affonso Neto, C. Neumann, Business Simulation Games: A Comparative Analysis for Teaching of Production Engineering, Industrial Engineering and Operations Management, Springer International Publishing, 2021.
- [3] J. R. Jenkins, "The role of simulations in international management education," *Journal of Teaching in International Business*, vol. 9, no. 3, pp. 43-58, 1998. DOI: https://doi.org/10.1300/J066v09n03_04
- [4] T. L. Sohl, and P. R. Claggett, "Clarity versus complexity: Land-use modeling as a practical tool for decision-makers," *Journal of Environmental Management*, vol. 129, pp. 235-243, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.07.027>.
- [5] S. Mubarak, and H. Jutta, "Business simulations as effective virtual and experiential learning environment," *INTED2022 Proceedings*, 2022. Available: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022081955881>
- [6] N. Faisal, M. Chadhar, A. Goriss Hunter, and A. Stranieri, "Business simulation games in higher education: A systematic review of empirical research," *Human Behavior and Emerging Technologies*, pp. 1578791, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/1578791>
- [7] S. Capelo Badillo, A. B. Hernández Lara, and E. Serradell López. "A systematic review on the effectiveness of business simulation games and learning performance," *EDULEARN18 Proceedings*, pp. 10774-10780, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21125/edulearn.2018.2638>
- [8] M. Bianchi, A. B. Hernández Lara, and D. Gualdi, "The contribution of virtual enterprises to competence-based learning: an assessment from the students' perspective: Case study," *Technology, Innovation and Education*, vol. 1, pp. 1-16, 2015 DOI: <https://doi.org/10.1186/s40660-015-0005-x>.
- [9] D. M. Bridgeland, and R. Zahavi, Business modeling: a practical guide to realizing business value, Morgan Kaufmann, 2008.
- [10] M. Loon, J. Evans, and C. Kerridge, "Learning with a strategic management simulation game: A case study," *The International Journal of Management Education*, vol. 13, no. 3, pp. 227-236, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2015.06.002>.
- [11] S. Alvarez Rodríguez, G. Flores, and N. Alcalá Ochoa, "Variable Gains Sliding Mode Control", *International Journal of Control Automation and Systems*, vol. 17, no. 3, pp. 555-564, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12555-018-0095-9>.
- [12] S. Alvarez Rodríguez, and G. Flores, "PID principles to obtain adaptive variable gains for the sliding mode control", *International Journal of Control Automation and Systems*, vol. 18, no. 10, pp. 2456-2467, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12555-019-0343-7>.