

ORIGINAL

Application of Systems Thinking in Scientific Research in Engineering and Science: an Interdisciplinary Approach

Aplicación del Pensamiento Sistémico en la Investigación Científica en Ingeniería y Ciencias: un Enfoque Interdisciplinario

Fernando Ramírez-Paredes¹  , Victor Montenegro Simancas¹  , Doris Ascanta Otacoma¹  

¹Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Ibarra, Ecuador.

Citar como: Ramírez-Paredes F, Montenegro Simancas V, Ascanta Otacoma D. Application of Systems Thinking in Scientific Research in Engineering and Science: An Interdisciplinary Approach. Data and Metadata. 2025; 4:767. <https://doi.org/10.56294/dm2025767>

Enviado: 10-05-2024

Revisado: 13-09-2024

Aceptado: 31-03-2025

Publicado: 01-04-2025

Editor: Dr. Adrián Alejandro Vitón Castillo 

Autor para la correspondencia: Fernando Ramírez-Paredes 

ABSTRACT

This study analyzes the integration of systems thinking with the quantitative scientific method in the teaching of research in engineering and applied sciences. It demonstrates that systems thinking enables a better understanding of complex problems by considering the interrelation between variables, facilitating system modeling in various fields. The results obtained through statistical analysis indicate a significant improvement in students' academic performance after implementing the systems approach. The Wilcoxon test showed a p-value of $5,539 \times 10^{-10}$, confirming that grades significantly improved in the second evaluation. Additionally, the Shapiro-Wilk normality test revealed that the analyzed variables (nota-1, nota-2, dt1, dt2) do not follow a normal distribution, justifying the use of non-parametric methods. Overall, systems thinking-based teaching reduces learning variability, helping students acquire a more structured knowledge. The findings suggest that this approach can be a valuable tool for teaching research methodology in engineering and applied sciences.

Keywords: Systems Thinking; System Dynamics; Scientific Research; Engineering Education.

RESUMEN

Este estudio analiza la integración del pensamiento sistémico con el método científico cuantitativo en la enseñanza de la investigación en ingeniería y ciencias aplicadas. Se demuestra que el pensamiento sistémico permite comprender mejor problemas complejos al considerar la interrelación entre variables, facilitando la modelización de sistemas en diversos campos. Los resultados obtenidos mediante análisis estadístico indican una mejora significativa en el rendimiento académico de los estudiantes tras la implementación del enfoque sistémico. La prueba de Wilcoxon mostró un p-valor de $5,539 \times 10^{-10}$, lo que confirma que las calificaciones mejoraron notablemente en la segunda evaluación. Además, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk reveló que las variables analizadas (nota-1, nota-2, dt1, dt2) no siguen una distribución normal, justificando el uso de métodos no paramétricos. En términos generales, la enseñanza basada en el pensamiento sistémico reduce la variabilidad en el aprendizaje, logrando que los estudiantes adquieran un conocimiento más estructurado. Los hallazgos sugieren que este enfoque puede ser una herramienta valiosa para la enseñanza de la metodología de la investigación en ingeniería y ciencias aplicadas.

Palabras clave: Pensamiento Sistémico; Dinámica de Sistemas; Investigación Científica; Educación en Ingeniería.

INTRODUCCIÓN

El pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas han sido fundamentales para comprender y modelar sistemas complejos en diversas disciplinas. Desde su origen en los trabajos de Jay W. Forrester en la década de 1950, la dinámica de sistemas ha sido aplicada en campos como la ingeniería, la economía, la gestión de riesgos y la educación superior. Este enfoque ha permitido analizar los problemas no de manera aislada, sino en su contexto global, considerando las interconexiones y las relaciones dinámicas entre los componentes de un sistema.⁽¹⁾

Por otro lado, el método científico cuantitativo ha sido la base del desarrollo del conocimiento en ciencia e ingeniería desde la Revolución Científica. Su evolución ha permitido la aplicación de enfoques matemáticos, modelos computacionales y simulaciones en la investigación, lo que ha mejorado la capacidad de analizar fenómenos complejos y diseñar soluciones innovadoras.^(2,3)

En este contexto, la combinación del pensamiento sistémico y el método científico se ha convertido en una herramienta poderosa para la resolución de problemas en ingeniería y ciencias aplicadas. La necesidad de abordar desafíos contemporáneos, como el cambio climático, la sostenibilidad energética y la optimización de procesos industriales, ha impulsado el desarrollo de metodologías que integran estos enfoques.⁽⁴⁾

Historia y evolución del pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas

El pensamiento sistémico surge como una respuesta a la creciente complejidad de los sistemas sociales, tecnológicos y ambientales. Ludwig von Bertalanffy introdujo la Teoría General de Sistemas en la década de 1940, estableciendo principios que han sido aplicados en múltiples disciplinas, desde la biología hasta la ingeniería de software. Esta teoría destacó la importancia de estudiar los sistemas como conjuntos interrelacionados, en lugar de enfocarse únicamente en sus partes individuales.^(5,6)

Posteriormente, Jay W. Forrester desarrolló la dinámica de sistemas, una metodología basada en ecuaciones diferenciales y simulaciones computacionales que permitía modelar el comportamiento de sistemas complejos a lo largo del tiempo. Su primer gran aporte fue el modelo de dinámica industrial, utilizado en la gestión de la cadena de suministro en General Electric para optimizar inventarios y producción. Este enfoque fue luego extendido a problemas urbanos y ambientales, dando origen a modelos como Urban Dynamics (1969) y World Dynamics (1971), que fueron la base del influyente informe Los límites del crecimiento del Club de Roma.^(1,7)

Actualmente, el pensamiento sistémico sigue evolucionando y se aplica en diversas áreas, como la educación superior, la gestión de riesgos y la seguridad industrial. En la educación, se ha identificado como una competencia clave para preparar a los estudiantes en la resolución de problemas no estructurados, fomentando un aprendizaje interdisciplinario y basado en proyectos.⁽⁸⁾ En la gestión de seguridad, ha permitido el desarrollo de nuevos modelos de análisis de accidentes, como la Teoría de Interacción del Sistema Peligro-Objetivo (ITHTS), que incorpora factores humanos, organizacionales y tecnológicos en un mismo marco de análisis.⁽⁹⁾

El método científico cuantitativo en la investigación en ingeniería

El método científico cuantitativo tiene sus raíces en el racionalismo cartesiano y el empirismo newtoniano, estableciendo un marco basado en la experimentación, el análisis de datos y la validación empírica. A lo largo del tiempo, ha evolucionado con enfoques como el inductivismo de Francis Bacon y el falsacionismo de Karl Popper, que enfatiza la refutabilidad de las hipótesis como criterio fundamental del conocimiento científico. En ingeniería, este método ha sido esencial para el desarrollo de modelos matemáticos y la validación experimental de fenómenos físicos.^(10,11)

Uno de los enfoques recientes en la aplicación del método científico en la educación ha sido la integración de inteligencia artificial y metodologías de aprendizaje activo. Investigaciones recientes han demostrado que la combinación de métodos tradicionales con herramientas de inteligencia artificial puede mejorar la enseñanza del pensamiento complejo y la capacidad analítica de los estudiantes.^(12,13)

El método científico ha incorporado variaciones específicas en ingeniería, como el ciclo de desarrollo iterativo, que permite mejorar modelos y experimentos mediante ajustes sucesivos.^(14,15) Otro enfoque relevante es la investigación basada en modelos, donde la formulación y prueba de modelos computacionales complementa la experimentación tradicional. Este enfoque ha sido ampliamente utilizado en la ingeniería de sistemas para analizar interacciones complejas en redes de infraestructura y procesos industriales.⁽¹⁶⁾

Aplicaciones interdisciplinarias del pensamiento sistémico en la investigación científica

El pensamiento sistémico ha sido adoptado en diversas disciplinas para abordar problemas complejos con múltiples variables interconectadas. En la educación, la integración del pensamiento sistémico ha permitido mejorar la enseñanza de ciencias y matemáticas mediante la implementación de metodologías innovadoras, como el aprendizaje basado en modelos. En la seguridad industrial, la aplicación del pensamiento sistémico ha llevado al desarrollo de métodos avanzados de análisis de accidentes. Asimismo, en el ámbito del emprendimiento y la innovación, se ha identificado una fuerte correlación entre el pensamiento sistémico y la capacidad de los

emprendedores para tomar decisiones estratégicas.^(2,17)

La enseñanza de la investigación científica implica un proceso en el que el estudiante debe desarrollar criterios para el abordaje de problemas complejos. La tendencia en los programas de ingeniería es considerar a la investigación científica como una materia iniciática en la formación, de tal modo que se encuentra ubicada al inicio de la malla. Esto constituye por una parte un problema, ya que, si la enseñanza de esta asignatura no genera un modo distinto de pensamiento, lo aprendido, con el tiempo tiende a disiparse. Por otra parte, el hecho de que la asignatura de investigación científica esté al inicio de la formación ingenieril constituye la oportunidad de proveer al estudiante de herramientas para que sean aplicadas a lo largo del resto de la carrera.

El presente trabajo aborda este particular mediante la aplicación del pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas en la enseñanza de investigación científica en ingeniería y ciencias. Se destaca el impacto en la resolución de problemas interdisciplinarios, pero no apelando a mecanismos memorísticos sino a una metodología que llega a ser natural en el estudiante. La integración de este enfoque se realiza inicialmente con el método científico cuantitativo.

A medida que los desafíos en ingeniería y ciencias se vuelven más complejos, la adopción de enfoques sistémicos se vuelve fundamental para diseñar soluciones sostenibles y eficientes. Este estudio proporciona un marco conceptual y metodológico que puede guiar futuras investigaciones en estas áreas, contribuyendo al desarrollo de nuevas metodologías en la educación y la investigación aplicada.

MÉTODO

El desarrollo del conocimiento en ingeniería y ciencias aplicadas se basa en la aplicación rigurosa del método científico, el cual permite estructurar la generación de hipótesis, la validación experimental y la generalización de los resultados. En este trabajo, se considera una variante del método científico adaptado a la investigación en ingeniería, compuesto por cinco pasos fundamentales: Observación, Definición, Experimentación, Generalización y Divulgación. Cada uno de estos pasos contribuye a la construcción de conocimiento, desde la identificación de un problema hasta su difusión en la comunidad científica y profesional.⁽¹⁸⁾

Etapas del Método Científico en Ingeniería

Observación

La observación es el punto de partida del método científico en ingeniería y ciencias aplicadas. Su propósito es identificar fenómenos relevantes que requieren análisis y comprensión. Este proceso se apoya en dos elementos fundamentales:

Los sentidos: la percepción sensorial directa es una de las formas más básicas de observación. En ingeniería, esto puede incluir la inspección visual de una estructura, la medición de temperatura en un sistema térmico o la evaluación acústica de un equipo mecánico. El conocimiento: además de la observación empírica, la revisión de literatura, antecedentes teóricos y experiencias previas contribuyen a contextualizar el problema en estudio.

Definición del problema

En el presente enfoque se plantea la existencia de un problema susceptible de ser definido como una relación funcional matemática. Esto se refleja en el principio de causalidad que puede existir entre una o más variables independientes “ x_i ” y una variable dependiente “ y ”. Dentro de esta concepción del problema también está el dominio y rango de la investigación.

Una vez identificado un fenómeno de interés, se procede a definir el problema de investigación mediante el análisis de las variables que intervienen en el fenómeno. En esta etapa se formulan los siguientes elementos clave:

Variables de investigación: son los factores que influyen en el fenómeno bajo estudio y que pueden ser cuantificables (medibles, evaluables o categorizables). Se clasifican en variables dependientes (las que se buscan explicar o predecir) e independientes (las que se manipulan o estudian como posibles causas). La relación entre variables independientes y dependiente puede incluir relaciones de retroalimentación en el caso de sistemas complejos. Llegar a establecer este tipo de relaciones en los modelos corresponde al nivel más profundo en cuanto a alcances investigativos. En la figura 1 se muestran n variables independientes y a partir de la variable $n+1$ se muestran variables que se ven afectadas por la variable dependiente “ y ”.

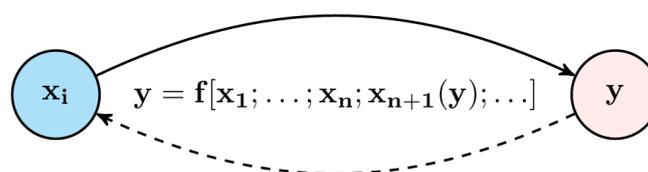


Figura 1. Relación funcional relativo a un problema de investigación

Pregunta de investigación: a partir de las variables identificadas, se formula una pregunta abierta y clara que guíe el estudio.

Hipótesis: se establece una suposición fundamentada, una afirmación sobre la relación entre las variables. La hipótesis se refleja en esta relación y en principio puede asignársele un valor positivo o negativo, tal como se muestra en la figura 2.

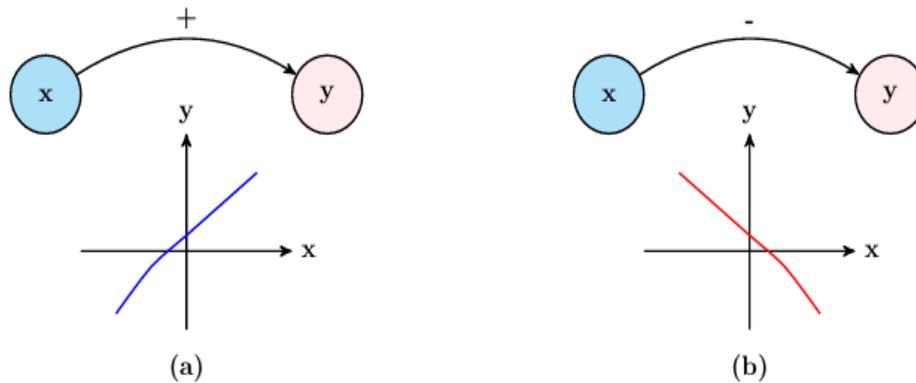


Figura 2. Hipótesis de investigación como relaciones causales

Objetivo General: se define el propósito del estudio, que usualmente implica la validación de la hipótesis mediante modelos, experimentación o análisis de datos.

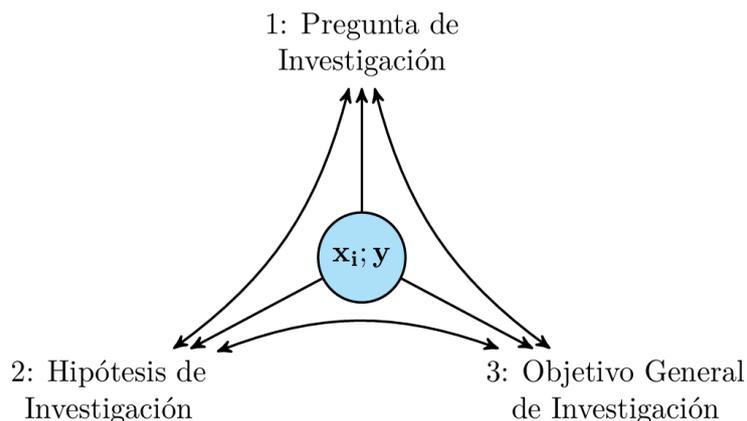


Figura 3. Método Científico en Ingeniería

La pregunta de investigación, la hipótesis de investigación y el objetivo general tienen dentro de su estructura a las variables de investigación definidas previamente. En la figura 3 se muestra la relación que existe entre estas tres herramientas para definir el problema de investigación. Se propone en este trabajo que estos tres conceptos tienen el mismo fundamento estructural analizado desde el pensamiento sistémico.

Experimentación

En esta fase se diseñan y ejecutan pruebas para validar la hipótesis planteada. En el contexto de la ingeniería, la experimentación puede adoptar diversas formas. El diseño experimental debe garantizar la reproducibilidad de los resultados, minimizando fuentes de error y asegurando la validez de las conclusiones.

Generalización

Una vez obtenidos los resultados experimentales, es necesario evaluar hasta qué punto estos pueden ser extrapolados a otras condiciones dentro del mismo dominio de estudio. Se deben considerar el alcance y posibles limitaciones del estudio.

Divulgación

El último paso del método científico es la difusión del conocimiento generado.

En la figura 4 se presenta un diagrama de flujo que resume la estructura del método científico en ingeniería y ciencias aplicadas.

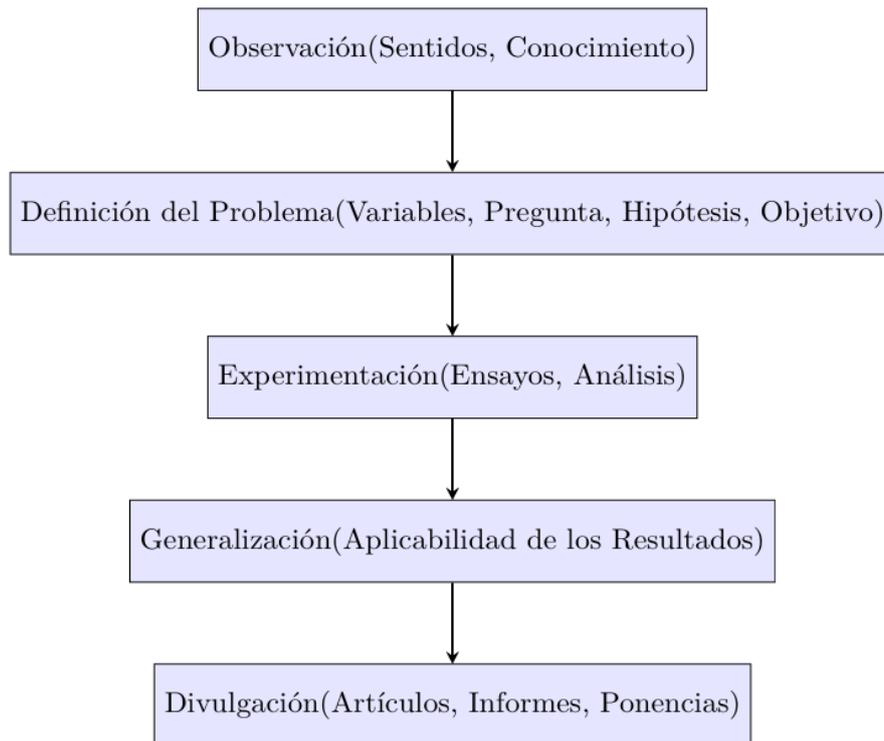


Figura 4. Método Científico en Ingeniería

Diagrama causal en dinámica de sistemas y su aplicación en investigación científica

En la dinámica de sistemas, un diagrama causal es una herramienta fundamental para representar las relaciones entre variables dentro de un sistema. Se basa en la idea de que los sistemas están compuestos por múltiples elementos interconectados, cuyas relaciones pueden influirse mutuamente de forma directa o indirecta. Este tipo de diagramas es ampliamente utilizado en la modelización de problemas complejos en ingeniería, ciencias ambientales, economía y gestión de sistemas.^(19,20)

Un diagrama causal consiste en: nodos, que representan las variables del sistema. Flechas dirigidas, que indican la dirección de la influencia causal entre las variables. Signos positivos (+) o negativos (-), que indican si la relación entre dos variables es directa o inversa. Estos diagramas permiten comprender la estructura de retroalimentación de un sistema y son la base para modelar dinámicas más avanzadas con ecuaciones diferenciales en dinámica de sistemas.

El método científico y los diagramas causales en dinámica de sistemas comparten una estructura conceptual basada en la relación entre variables, hipótesis y procesos de inferencia. En este sentido, se puede establecer una analogía entre los elementos de un diagrama causal y las fases del método científico, lo que permite visualizar el proceso de investigación desde una perspectiva sistémica.

Variables del diagrama causal y las variables de investigación

En el método científico, la formulación de una hipótesis parte de la identificación de variables independientes y dependientes. En un diagrama causal, estas mismas variables aparecen como nodos conectados por flechas que representan relaciones causales.

Variables independientes (x_i): son los factores que el investigador manipula o mide para analizar su efecto sobre una variable dependiente. En un diagrama causal, estas variables están en los extremos de la estructura y apuntan hacia otras variables. Variable dependiente (y): es la respuesta o el efecto que se busca explicar. En el diagrama causal, es el nodo al que llegan las flechas de las variables independientes. Puede haber variables intermedias que están mediando la relación entre una variable independiente y una dependiente, así como variables exógenas, aquellas que afectan al sistema pero que no se ven afectadas por él. Así como en una investigación científica es fundamental identificar estas variables para formular una hipótesis, en un diagrama causal su correcta disposición define la estructura del sistema analizado.

Hipótesis de investigación y las flechas del diagrama causal

En el método científico, una hipótesis establece una relación entre variables, generalmente en términos de causa y efecto. En un diagrama causal, estas relaciones se representan mediante flechas dirigidas, las cuales indican cómo una variable afecta a otra.

En la figura 5 se muestra la analogía entre conceptos de dinámica de sistemas y de investigación científica.

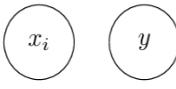
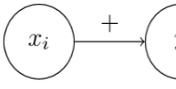
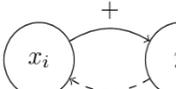
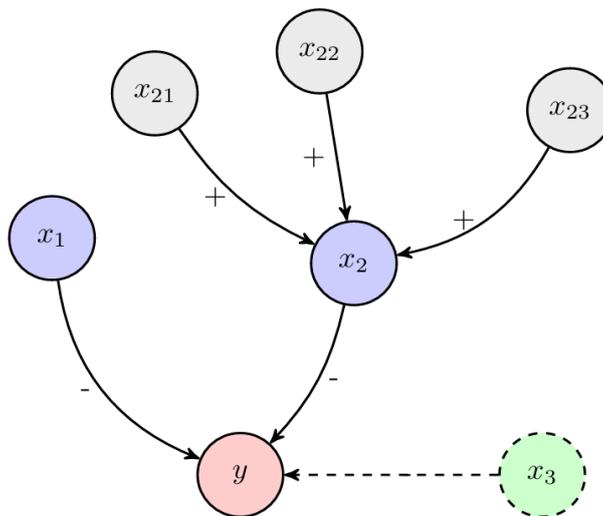
Investigación	Analogía en DS
Variabes: Conceptos susceptibles de medición, evaluación o categorización. (x_i, y) .	
Hipótesis de Investigación: Relación entre una variable independiente y la dependiente.	
Retroalimentación: Cuando la variable dependiente afecta a la independiente.	
Variable Exógena: Variable que influye en el sistema pero no es afectada por él.	

Figura 5. Analogía entre conceptos de dinámica de sistemas y de investigación científica

Con estas herramientas se muestra el siguiente ejemplo de aplicación:

Artículo: inteligencia emocional e ideación suicida en adolescentes: el rol mediador y moderador del apoyo social.⁽²¹⁾ Siendo y la ideación suicida, x_1 la inteligencia emocional y x_2 el apoyo social, que a su vez se ve dimensionado a través del apoyo familiar (x_{21}), el apoyo entre iguales (x_{22}) y el apoyo docente (x_{23}). Además, se tiene una variable que puede interpretarse como exógena que es la edad del adolescente (x_3).

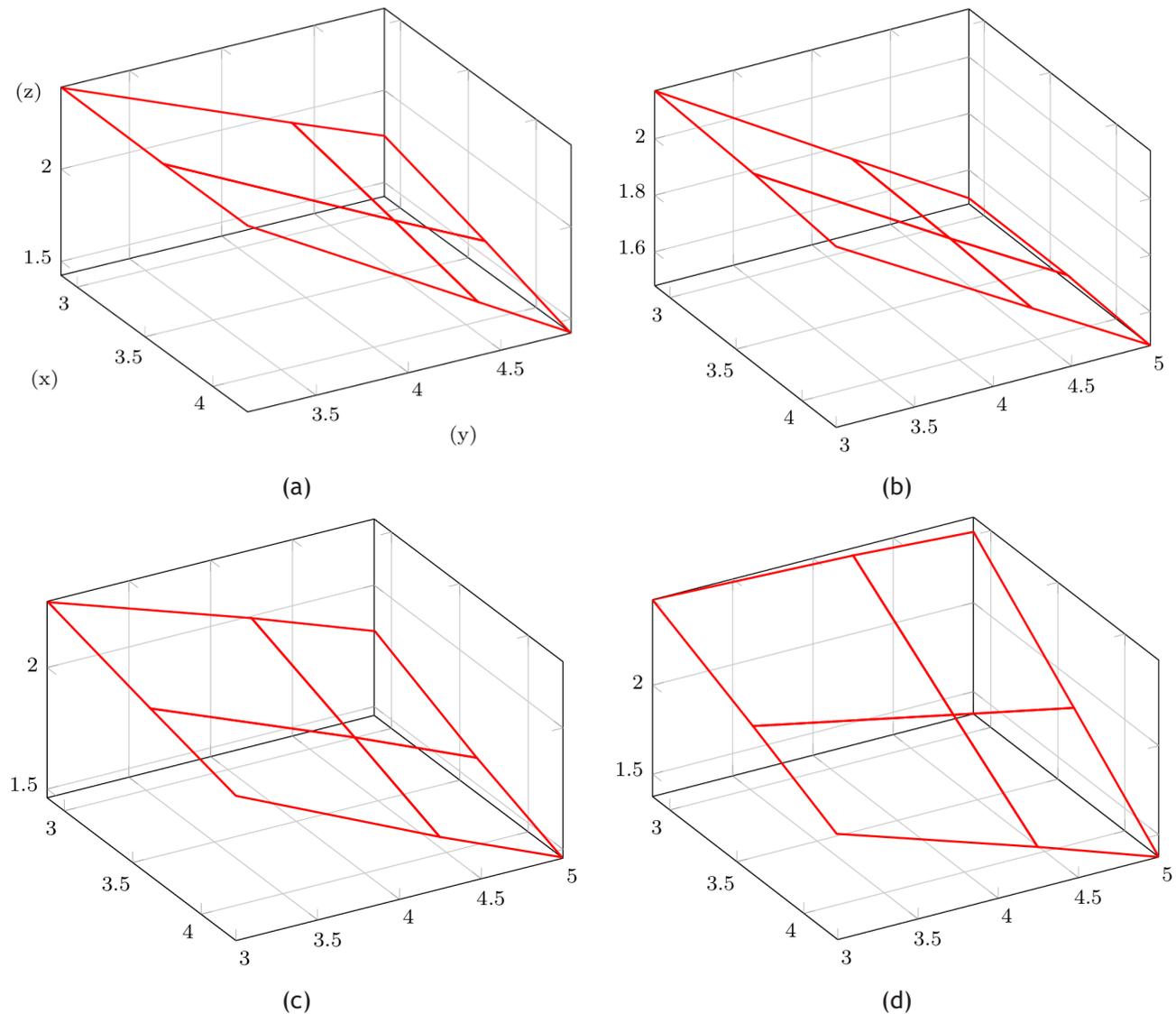


Fuente: Galindo-Domínguez et al.⁽²¹⁾

Figura 6. Representación causal del artículo: inteligencia emocional e ideación suicida en adolescentes: el rol mediador y moderador del apoyo social

En la figura 6 se muestra la estructura sistémica básica sobre el artículo: inteligencia emocional e ideación suicida en adolescentes: el rol mediador y moderador del apoyo social. Las variables están representadas por nodos con sus codificaciones correspondientes y las relaciones probables a modo de flechas. Estas probables relaciones conforman la hipótesis de investigación de la que parte el trabajo y que finalmente es validada.

En la figuras 7 se observan los resultados experimentales del estudio representado causalmente en la figura 6. Los ejes (x), (y) y (z) representan la inteligencia emocional, el apoyo social y la ideación suicida respectivamente. La figura 7 (a) no considera como variable independiente la edad de la muestra, en tanto que las gráficas 6 (b), (c), (d) muestran resultados para muestras con 12, 13 y 15 años de edad respectivamente. En base a la experimentación se confirman las hipótesis que relacionan las variables. De este modo se muestra una aplicación directa del pensamiento sistémico sobre un proyecto de investigación complejo, que ha sido validado y que puede ser correctamente representado a través de un diagrama causal.



Fuente: Galindo-Domínguez et al.⁽²¹⁾

Figura 7. Inteligencia emocional hacia ideación suicida cuando apoyo familiar como moderadora. Los ejes (x), (y) y (z) representan la inteligencia emocional, el apoyo social y la ideación suicida respectivamente

Una vez mostrado es sustento teórico como herramienta en la enseñanza de la dinámica de sistemas básica en el planteamiento y definición de problemas de investigación, se procede a la aplicación de esta metodología en un grupo de estudiantes de ingeniería en una universidad pública del Ecuador.

Aplicación del enfoque sistémico en la enseñanza de investigación científica

Esta experiencia se ha llevado a cabo a lo largo de un semestre completo para analizar el efecto de esta metodología. La aplicación no implica ningún trato exclusivo para algún grupo específico de estudiantes puesto que se ha diseñado básicamente como la evaluación de los grupos antes y después de utilizar el enfoque sistémico como estrategia de enseñanza para poder medir su efecto en el aprendizaje.

La temática cubierta en la asignatura de Metodología de la Investigación se muestra en la tabla 1. Esta información cubre un curso promedio de investigación a nivel universitario para formar estudiantes funcionales dentro de la metodología.

Para la aplicación del enfoque propuesto en el presente trabajo, en una primera fase se ha cubierto de manera tradicional la asignatura cuyo contenido está en la tabla 1, utilizando metodología de clases magistrales con participación de los estudiantes y ejemplos de análisis de artículos científicos mediante la aplicación de TICs. Para evaluar los resultados de esta primera fase, se ha diseñado una herramienta con 59 preguntas sobre ejemplos de artículos científicos, sus títulos, resúmenes y conclusiones. Cada pregunta pone a disposición del estudiante un título, resumen y conclusiones, y solicita al estudiante que identifique elementos como variables de investigación, alcances y objetivo general. Ejemplos:

Pregunta: dado el título, identifique las variables de investigación: título: efecto del consumo de probióticos en la salud gastrointestinal en pacientes con síndrome del intestino irritable.

- A. Consumo de probióticos.
- B. Salud gastrointestinal.
- C. Tipo de dieta.
- D. Horas de sueño.
- E. Nivel de actividad física.

En este caso las respuestas correctas son las opciones A y B.

Pregunta: dado el resumen del artículo de investigación, identifique el objetivo de investigación:

Resumen: este estudio investiga cómo el ejercicio físico regular impacta el bienestar psicológico en adultos mayores. Se recopilaron datos de 300 participantes, que fueron divididos en dos grupos: aquellos que realizan ejercicio físico regular y aquellos que no. Se utilizó la Escala de Bienestar Psicológico de Ryff para medir los niveles de bienestar. Los resultados indican una mejora significativa en el bienestar psicológico de los adultos mayores que realizan ejercicio físico regular en comparación con los que no lo hacen.

- A. Determinar si el ejercicio físico regular mejora el bienestar psicológico en adultos mayores
- B. Comparar la calidad del sueño entre adultos mayores que hacen ejercicio y los que no.
- C. Evaluar la relación entre el ejercicio físico y la salud cardiovascular en adultos mayores.
- D. Investigar los efectos del ejercicio físico en la reducción del estrés laboral en adultos mayores.
- E. Analizar las diferencias en la presión arterial entre adultos mayores que realizan diferentes tipos de ejercicio.

La respuesta correcta es la opción A.

Pregunta: dado el resumen del artículo de investigación, identifique el alcance de investigación:

Resumen: este estudio examina cómo el consumo de frutas y verduras afecta la salud digestiva en adultos. Se incluyeron 400 adultos que fueron evaluados en términos de su consumo diario de frutas y verduras y su salud digestiva utilizando cuestionarios específicos. Los resultados mostraron una correlación positiva entre un mayor consumo de frutas y verduras y una mejor salud digestiva.

- A. Exploratorio.
- B. Descriptivo.
- C. Correlacional.
- D. Explicativo.

La respuesta correcta es la C.

Tabla 1. Temas cubiertos en Metodología de la Investigación para la aplicación del método científico

Unidad Curricular	Contenidos
1. Conocimiento, Ciencia e Investigación	1.1 Epistemología, conocimiento y ciencia. 1.2 La investigación científica, paradigmas de investigación. 1.3 Ética e investigación, Código de ética institucional y/o de Unidad Académica. 1.4 Normas de citación y redacción científica.
2. Métodos y Técnicas de Investigación	2.1 Investigación Cuantitativa vs Investigación Cualitativa. 2.2 Métodos o tipos de investigación cuantitativa y cualitativa. 2.3 Técnicas e instrumentos de investigación científica. 2.4 Población y muestra. El muestreo probabilístico y no probabilístico.
3. El Plan de Investigación	3.1 El tema y el problema de investigación. 3.2 La justificación y antecedentes. 3.3 Preguntas de investigación y/o hipótesis. Objetivos. Metodología. 3.4 Materiales y métodos, cronograma y recursos.
4. Informe de Resultados de la Investigación (Artículo Científico)	4.1 Importancia de informar los resultados de una investigación científica. 4.2 Materiales y métodos. 4.3 Resultados y discusión. 4.4 Conclusiones, resumen, abstract, palabras clave (keywords).

Con esta herramienta se han evaluado conocimientos de un grupo de 90 estudiantes de diversas ramas de la ingeniería. Todos los temas utilizados en la herramienta de evaluación fueron generados mediante IA y están estructurados por una o dos variables independientes y una variable dependiente sin retroalimentación. De este modo se reproduce una estructura básica de título y resumen, comúnmente presentada en bases de datos científicas.

Unidad	Contenidos
1. Introducción al Pensamiento Sistémico	Definición de sistemas y pensamiento sistémico. Diferencias entre pensamiento lineal y sistémico. Principios básicos del pensamiento sistémico.
2. Elementos de un Sistema	Componentes de un sistema: elementos, relaciones y propósito. Tipos de sistemas: abiertos, cerrados, dinámicos, complejos. Retroalimentación y su importancia en los sistemas.
3. Diagramas Causales	Introducción a los diagramas causales. Identificación de relaciones de causalidad. Bucles de retroalimentación: positiva y negativa. Construcción e interpretación de diagramas causales.

Una vez obtenidos estos resultados llamados para el efecto “Nota-1” al puntaje alcanzado y “dt1” al tiempo en minutos que se ha tardado cada estudiante en responder, se ha llevado a cabo una segunda fase, que implica el enseñar las bases de la dinámica de sistemas al grupo de estudiantes. Estos conocimientos implican los contenidos mostrados en la tabla 2. La metodología de enseñanza sigue siendo la de clases magistrales con participación de los estudiantes y el análisis de artículos científicos mediante la utilización de TICs. Una vez impartidos los conocimientos básicos sobre pensamiento sistémico, necesarios para poder aplicarlos en la metodología de la investigación se repite la aplicación de una herramienta estructuralmente igual a la aplicada en la primera fase. De este modo se obtiene los resultados “Nota-2” y “dt2”, al puntaje y tiempo correspondientes a esta segunda evaluación.

Sobre los resultados obtenidos se observa que no siguen una distribución normal (Shapiro-Wilk), por lo que el análisis siguiente se hará con estadística no paramétrica. En este caso se utiliza la prueba de Wilcoxon.

Variable	Mín	Q1	Mediana	Media	Q3	Máx	Desv. Est.	W (Shapiro)	p-Valor
Nota 1	15	26.75	55.50	53.06	78.00	95	26.34	0.89247	1.89×10^{-6}
Nota 2	22	65.50	76.00	73.10	86.75	98	18.73	0.90171	4.83×10^{-6}
dt1	3	22.25	34.00	35.09	40.50	197	26.92	0.61429	5.03×10^{-14}
dt2	4	22.25	34.00	37.79	45.75	174	25.65	0.82770	7.45×10^{-9}

Figura 8. Estadísticos Descriptivos y Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

La figura 9 muestra el análisis gráfico de normalidad de las variables analizadas: Nota-1 y Nota-2 en la parte superior, dt1 y dt2 en la parte inferior. Se puede observar que existen desviaciones evidentes del comportamiento normal en las cuatro gráficas. En la figura 8 se confirma la observación gráfica, es decir que, todos los p-valores de las variables analizadas son significativamente menores a 0,05, lo que significa que ninguna de las variables (Nota 1, Nota 2, dt1, dt2) se distribuye normalmente. Por lo tanto, para futuros análisis estadísticos (como comparaciones de medias o correlaciones), se recomienda utilizar métodos no paramétricos, como la prueba de Wilcoxon para muestras pareadas o la correlación de Spearman.

Los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico descriptivo y la prueba de Wilcoxon permiten evaluar el comportamiento de las calificaciones (nota-1 y nota-2) y los tiempos de resolución (dt1 y dt2).

El análisis de las calificaciones muestra que la media de nota-1 es 53,06, mientras que la de nota-2 es 73,10, lo que indica una mejora en el rendimiento académico. Esta tendencia también se refleja en la mediana, que pasó de 55,5 en nota-1 a 76,0 en nota-2, y en el rango intercuartil, donde el Q1 aumentó de 26,75 a 65,50, y el Q3 de 78,00 a 86,75. La desviación estándar disminuyó de 26,33 en nota-1 a 18,73 en nota-2, lo que sugiere una menor dispersión en las calificaciones de la segunda evaluación, es decir, los estudiantes mostraron un desempeño más uniforme.

El análisis de los tiempos de resolución indica que el promedio de tiempo en dt1 fue de 35,09 minutos, aumentando ligeramente a 37,79 minutos en dt2. La mediana se mantuvo constante en 34,0 minutos, pero los valores del tercer cuartil (Q3) muestran un aumento de 40,50 a 45,75 minutos, lo que indica que algunos estudiantes dedicaron más tiempo a la segunda evaluación. La desviación estándar en dt1 fue de 26,91, mientras que en dt2 fue 25,65, sugiriendo que los tiempos de respuesta fueron más homogéneos en la segunda evaluación.

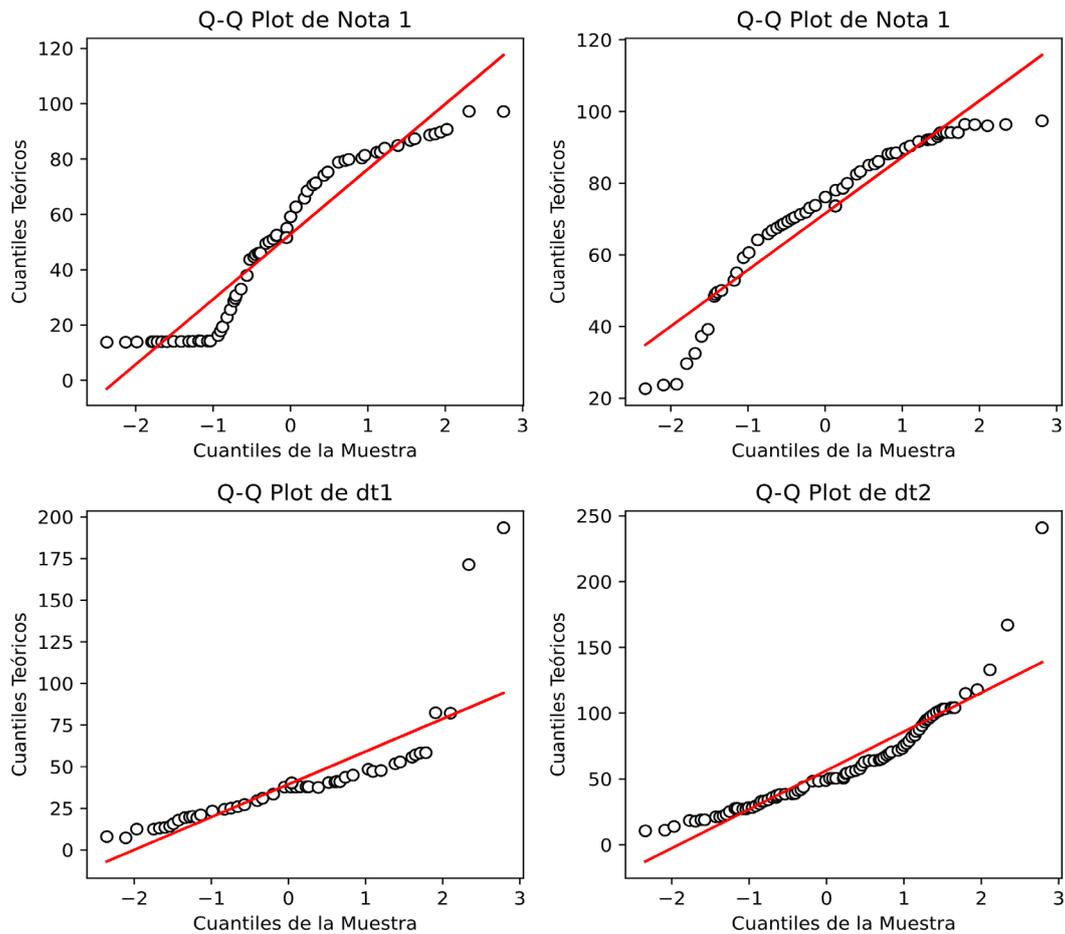


Figura 9. Análisis de normalidad en los parámetros analizados

Estos resultados son respaldados por la prueba de Wilcoxon, la cual arrojó un p-valor de $5,539 \times 10^{-10}$, indicando que la diferencia entre nota-1 y nota-2 es estadísticamente significativa. Se rechaza la hipótesis nula de que no hubo cambio en las calificaciones y se acepta la hipótesis alternativa, confirmando que los estudiantes mejoraron en la segunda evaluación.

En términos generales, los datos reflejan una mejora significativa en las calificaciones de los estudiantes en la segunda evaluación, con una reducción en la variabilidad de los puntajes, lo que sugiere una consolidación del aprendizaje. Aunque el tiempo medio de resolución aumentó ligeramente, la diferencia no parece ser estadísticamente relevante.

CONCLUSIONES

El presente estudio muestra que la integración del pensamiento sistémico en la enseñanza de la metodología de la investigación tiene un impacto significativo en el desempeño académico de los estudiantes. A través de la aplicación de una estrategia de enseñanza basada en la dinámica de sistemas, se observó una mejora en las calificaciones obtenidas en la segunda de dos evaluaciones realizadas. Esto fue confirmado por el análisis estadístico realizado.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk reveló que ninguna de las variables analizadas sigue una distribución normal, lo que llevó a la utilización de pruebas no paramétricas para el análisis estadístico. La media de la primera calificación fue de 53,06 y la de la segunda aumentó a 73,10. La mediana se incrementó de 55,5 a 76,0, y el rango intercuartil mostró un desplazamiento hacia valores más altos, indicando un progreso generalizado en la comprensión de los contenidos evaluados.

Los resultados de la prueba de Wilcoxon con un p-valor muy bajo, confirman que la diferencia en las calificaciones entre la primera y la segunda evaluación es estadísticamente significativa. La disminución de la desviación estándar de 26,33 a 18,73 entre las dos evaluaciones sugiere que los estudiantes presentaron un desempeño más homogéneo tras la implementación de la metodología. Esto indica que la enseñanza basada en el pensamiento sistémico no solo mejora los resultados individuales, sino que también contribuye a reducir la dispersión en el aprendizaje, favoreciendo una comprensión más estructurada de los conceptos.

En cuanto a los tiempos de resolución, no se evidenció un cambio significativo: de 35,09 a 37,79 minutos. La mediana se mantuvo aproximadamente en 34,0 minutos, mientras que el tercer cuartil aumentó de 40,50

a 45,75 minutos, lo que indica que algunos estudiantes dedicaron más tiempo a la segunda evaluación. Esta tendencia sugiere que el aprendizaje basado en el pensamiento sistémico pudo haber influido en una mayor reflexión y análisis al responder la evaluación, en lugar de una simple repetición de conocimientos.

Es necesario seguir investigando sobre el efecto del enfoque sistémico en diferentes áreas de la educación en ingeniería y ciencias aplicadas, y evaluar su impacto a largo plazo en la formación de profesionales con habilidades analíticas y críticas fortalecidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bloom. Collected papers of Jay W. Forrester: Bloom, Mitchel F., Jay W. Forrester, Wright-Allen press, 1975, 284 pp., \$30.00. *Technol Forecast Soc Change* 1977;10:415-9. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(77\)90038-5](https://doi.org/10.1016/0040-1625(77)90038-5).
2. Song Y, Feng JF. The research on the application of systems thinking in learning organizations (ID: 8-070) 2006:3524-6.
3. Arnold RD, Wade JP. A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach 2015;44:669-78. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050>.
4. Falcón AL, R SG. About Theoretical and Empirical Research Methods: Significance for Educational Research. *Rev Conrado* 2021;17:22-31 , ISSN = 1990-8644.
5. Pouvreau D. On the history of Ludwig von Bertalanffy's «general systemology», and on its relationship to cybernetics - Part II: Contexts and developments of the systemological hermeneutics instigated by von Bertalanffy. *Int J Gen Syst* 2014;43:172-245. <https://doi.org/10.1080/03081079.2014.883743>.
6. VanAssche K, Valentinov V, Verschraegen G. Ludwig von Bertalanffy and his enduring relevance: Celebrating 50 years General System Theory. *Syst Res Behav Sci* 2019;36:251-4. <https://doi.org/10.1002/sres.2589>.
7. Lane DC. The power of the bond between cause and effect: Jay Wright Forrester and the field of system dynamics. *Syst Dyn Rev* 2007;23:95-118. <https://doi.org/10.1002/sdr.370>.
8. Homer J. Reply to Jay Forrester's «System dynamics - the next fifty years». *Syst Dyn Rev* 2007;23:465-7. <https://doi.org/10.1002/sdr.388>.
9. Khan H, Ozkan KSL, Deligonul S, Cavusgil E. Redefining the organizational resilience construct using a frame based methodology: A new perspective from the ecology based approach. *J Bus Res* 2024;172:114397. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114397>.
10. Keuth H. Karl Popper and the Positivism Dispute 2019;123.
11. Cordero A. Mario Bunge's Scientific Realism. *Sci Educ* 2012;21:1419-35. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9456-6>.
12. Sayed A, Mohamed K, Mostafa A, Marwa M. Predict student learning styles and suitable assessment methods using click stream. *Egypt Inform J* 2024;26:100469. <https://doi.org/10.1016/j.eij.2024.100469>.
13. Grohs JR, Kirk GR, Soledad MM, Knight DB. Assessing systems thinking: A tool to measure complex reasoning through ill-structured problems. *Think Ski Creat* 2018;28:110-30. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.03.003>.
14. Degres L, Pierreval H, Caux C. Simulation of Steel Industry using System Dynamics. *IFAC Proc Vol* 2004;37:461-6. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)36157-8](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)36157-8).
15. Lake ET. Papers on research methods: The hidden gems of the research literature. *Res Nurs Health* 2019;42:421-2. <https://doi.org/10.1002/nur.21995>.
16. Whitehead NP, Scherer WT, Smith MC. Systems Thinking About Systems Thinking A Proposal for a Common Language. *IEEE Syst J* 2015;9:1117-28. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2014.2332494>.
17. Shin HS, Allan J. Modeling the relationship between students' prior knowledge, causal reasoning processes, and quality of causal maps. *Comput Educ* 2021;163:104113.

18. van Knippenberg D. The Problem of Research Method Informing Research Question in Leadership Research. *J Leadersh Organ Stud* 2023;30:5-10. <https://doi.org/10.1177/15480518221130704>.

19. Kenzie ES, Wakeland W, Jetter A, Lich KH, Seater M, Gunn R, et al. Protocol for an interview-based method for mapping mental models using causal-loop diagramming and realist interviewing. *Eval Program Plann* 2024;103:102412. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2024.102412>.

20. Delgado-Maciel J, Cortés-Robles G, Alor-Hernández G, Alcaráz JG, Negny S. A comparison between the Functional Analysis and the Causal-Loop Diagram to model inventive problems. *Procedia CIRP* 2018;70:259-64. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.235>.

21. Galindo-Domínguez H, Daniel LI. Inteligencia emocional e ideación suicida en adolescentes: el rol mediador y moderador del apoyo social. *Rev Psicodidáct* 2023;28:125-34.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Fernando Ramírez-Paredes.

Curación de datos: Víctor Montenegro Simancas.

Análisis formal: Fernando Ramírez-Paredes.

Investigación: Doris Ascanta Otacoma.

Metodología: Víctor Montenegro Simancas.

Administración del proyecto: Fernando Ramírez-Paredes.

Recursos: Doris Ascanta Otacoma.

Software: Víctor Montenegro Simancas.

Supervisión: Fernando Ramírez-Paredes.

Validación: Fernando Ramírez-Paredes.

Visualización: Víctor Montenegro Simancas.

Redacción - borrador original: Fernando Ramírez-Paredes.

Redacción - revisión y edición: Víctor Montenegro Simancas, Doris Ascanta Otacoma.