

INVESTIGACIONES

## Resolución de problemas y formulación de hipótesis al construir máquinas de Rube Goldberg

Problem solving and hypothesis formulation  
in building Rube Goldberg machines

*Kenji López-Taakegami<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>Grupo de Investigación Fonoaudiología y Psicología, Universidad Santiago de Cali, Colombia.  
joselopez00@usc.edu.co

### RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar la complejidad en la resolución de problemas y la formulación de hipótesis de 91 estudiantes de ingeniería al construir una Máquina de Rube Goldberg. Fue una investigación descriptiva y de diseño transversal, en la que se realizó un análisis intraindividual de los procesos cognitivos implicados en la tarea de reventar un globo con la máquina. Para ello, se utilizó una rúbrica de codificación que valoró la demanda cognitiva de las preguntas formuladas durante la construcción. Los resultados mostraron altos niveles de complejidad en ambos procesos, lo que sugiere que la sofisticación cognitiva está relacionada con los conocimientos físicos y las habilidades prácticas necesarias en la ciencia aplicada al diseño de la máquina. Además, se observaron patrones ascendentes y descendentes en la resolución de problemas y formulación de hipótesis, revelando dinámicas diversas en el desempeño de los participantes.

*Palabras clave:* Procesos cognitivos, conocimiento científico, conceptos físicos, estudiantes de ingeniería, complejidad.

### ABSTRACT

The study aimed to evaluate the complexity of problem-solving and hypothesis formulation performed by 91 engineering students while building a Rube Goldberg Machine. This was a descriptive, cross-sectional study that analyzed the cognitive processes involved in popping a balloon using the machine within individuals. A coding rubric was used to assess the cognitive demand of the questions posed during construction. The results showed high levels of complexity in both processes, suggesting that cognitive sophistication is related to the physical knowledge and practical skills required in the science of machine design. Furthermore, ascending and descending patterns were observed in problem-solving and hypothesis formulation, revealing diverse dynamics in the participants' performance.

*Key words:* Cognitive processes, scientific knowledge, physical concepts, engineering students, complexity.

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio, es caracterizar el nivel de complejidad en la resolución de problemas y formulación de hipótesis de 91 estudiantes de ingeniería al construir una Máquina de Rube Goldberg. La resolución de problemas y formulación de hipótesis son condiciones importantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Sagala, y Simanjuntak, 2017). La resolución de problemas es la puesta en marcha de acciones que permitan solventar una dificultad, es un proceso cognitivo que se realiza en diferentes niveles de sistematicidad (Astuti et al., 2019; Aslan, 2021). Siendo baja, cuando resolvemos un problema en la vida cotidiana o alta, por ejemplo, un problema que requiera conocimientos específicos del campo de la ingeniería (Magaji, 2021). En este proceso los pasos para resolverlo no son evidentes (Toharudin, 2017). Por lo anterior, durante el proceso de resolución problemas se buscan estrategias y se toman decisiones para tratar de resolver la situación. Además, se experimenta y se evalúan los resultados obtenidos al ejecutar las estrategias con el fin de establecer si se está logrando, o no, aproximarse a la meta (Morales-Maure, 2018).

En el ámbito educativo, la comprensión de cómo los docentes y los estudiantes conciben la resolución de problemas y el pensamiento científico ha sido objeto de atención en la investigación reciente. En este sentido, el estudio de Quintanilla, et al. (2018) analizó las nociones de profesores de química en ejercicio respecto a la resolución de problemas científicos escolares y las competencias de pensamiento científico. Los resultados evidenciaron que dichas concepciones son fragmentadas, poco elaboradas y en ocasiones contradictorias, lo que refleja una comprensión tradicional y dogmática de la ciencia, centrada más en la transmisión de contenidos que en la indagación y la construcción del conocimiento. Esta perspectiva limita la promoción de procesos cognitivos complejos asociados al pensamiento científico, como la formulación de hipótesis o la resolución de problemas abiertos. Así, se destaca la necesidad de diseñar entornos de enseñanza que integren la experimentación, la reflexión y la aplicación contextual del conocimiento, con el fin de superar la visión instrumental de la ciencia y favorecer un aprendizaje más activo y significativo. Este antecedente refuerza la importancia de estudios orientados a comprender cómo los estudiantes desarrollan niveles de complejidad en la resolución de problemas y la formulación de hipótesis al enfrentarse a situaciones experimentales auténticas, como la construcción de una Máquina de Rube Goldberg.

Estudios ponen en evidencia la necesidad de favorecer las habilidades de solución de problemas. Por ejemplo, Kähler et al. (2020) realizan un análisis del desarrollo de las brechas de alfabetización científica temprana en niños preescolares. A partir de revisión de datos longitudinales con 2937 niños y modelos lineales, los autores analizaron la alfabetización científica temprana. Los resultados sugieren que los niños con padres con nivel educativo bajo o que provenían de hogares con bajo capital cultural, presentaron un nivel significativamente menor de alfabetización científica. Valdez y Bungihan (2019) en un estudio con 96 estudiantes de secundaria evaluaron la efectividad del aprendizaje basado en problemas para enseñar conceptos de química. Los autores utilizaron un diseño experimental descriptivo-comparativo y pretest-postest. Inicialmente identificaron que las habilidades de resolución de problemas de los estudiantes eran muy bajas. Luego de la intervención en aprendizaje basado en problemas, las habilidades de los estudiantes mejoraron significativamente en comparación con el grupo control.

La habilidad de resolución de problemas en los estudiantes mejora en la medida en que se sugieren planteamientos prácticos y bien estructurados. A continuación, se muestran algunos estudios que favorecen la habilidad de solución de problemas de los estudiantes. Un primer estudio es el realizado por Gamarra y Pujay (2021) quienes encontraron una mejora en las habilidades cognitivas y el mejoramiento del rendimiento académico de la lógica matemáticas en 115 estudiantes universitarios al realizar actividades prácticas de resolución de problemas durante 7 semanas. El cambio se logró debido a que emplearon actividades prácticas de resolución de problemas en lógica matemática que ocuparon el 80% del tiempo de las clases y solo un 20% se dejó para aspectos teóricos.

Otro ejemplo, es el estudio de Tan et al. (2023). Los investigadores plantearon a 113 estudiantes una situación de resolución de problemas STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas, por sus siglas en inglés) para aumentar el rendimiento de unos cultivos. Los resultados sugieren que para favorecer la apreciación científica en la resolución de problemas STEAM, se pueden proponer oportunidades intencionadas. Para así garantizar que los estudiantes relacionen, el conocimiento científico con la práctica de habilidades de manera eficiente.

En un estudio cualitativo Flores-Fuentes, y Navarro-Rangel (2020) encontraron que resolver problemas favorece la construcción de conocimiento de ciencias contables. La investigación consistió en implementar una actividad basada en la resolución de problemas reales. Al momento del estudio 29 estudiantes universitarios conformaban la muestra del estudio. Los investigadores entraron que la solución de problemas puede auxiliar la asimilación del contenido, al contribuir con la construcción del conocimiento. La solución de problemas, además puede proporcionar beneficios como intercambios de experiencias, simulación de una situación real y desarrollo de habilidades, tales como la búsqueda de soluciones.

Así mismo Guevara, et al. (2016) en un estudio pidieron a los participantes hacer uso de su razonamiento científico. Los participantes resolvieron una situación de resolución de problemas que implicaba el uso de una balanza, en la cual se proponían siete situaciones de equilibrio a resolver. Los participantes tenían que poner pesas en clavijas ubicadas a largo de los brazos de la balanza para equilibrarla. La habilidad de rozamiento científico fue observada en varios momentos haciendo un análisis microgenético de medidas repetidas para observar adecuadamente los procesos de cambio de los participantes al resolver la tarea de la balanza. Los resultados sugieren que el razonamiento científico de los participantes evidencia variabilidad. Es decir, que no supone homogeneidad, ni es estático. La solución de la situación evidenció trayectorias de resolución que no son homogéneas ni estacionarias, sino variables a lo largo del tiempo.

En esta misma línea, estudios recientes han explorado el desarrollo del razonamiento científico en contextos de resolución de problemas mediados por tecnologías inmersivas. Por ejemplo, López Takegami et al. (2025) analizaron, mediante un diseño microgenético, la evolución de la complejidad del razonamiento científico en estudiantes de secundaria al interactuar con una simulación virtual en un entorno STEAM. Sus resultados evidenciaron que el razonamiento científico no es estático, sino que presenta trayectorias de cambio caracterizadas por un aumento progresivo desde niveles descriptivos hacia explicaciones causales más complejas a lo largo de múltiples sesiones. Estos hallazgos refuerzan la idea de que los procesos cognitivos implicados en la resolución de problemas científicos se desarrollan de manera dinámica y contextualizada, especialmente cuando los estudiantes interactúan con situaciones prácticas que demandan la articulación entre conocimiento

conceptual y acción. En este sentido, resulta pertinente ampliar la comprensión de estos procesos en otros contextos educativos, como la educación superior, y en tareas abiertas como la construcción de Máquinas de Rube Goldberg, donde la resolución de problemas y la formulación de hipótesis ocurren de manera simultánea.

En otro estudio, Orr y Jordan (2019) pidieron a 64 estudiantes de ingeniería mecánica de nivel básico construir una Máquinas de Rube Goldberg con 50 dólares. El problema consistía en crear una Máquina de Rube Goldberg que debía subir una cremallera y tener 20 pasos. El propósito del trabajo era favorecer la enseñanza del concepto físico de dinámica. A partir de una encuesta, los participantes al finalizar reportaron desarrollar habilidades prácticas que no eran posibles con actividades de clase centradas en teoría o enseñanza tradicional. Así mismo, en su estudio Karahan, et al. (2019) pidieron a estudiantes de primaria diseñar una Máquina de Rube Goldberg. El problema a resolver era desplegar una bandera en seis pasos y el trabajo se debería realizar a partir de la ingeniería. Las herramientas de recolección de datos fueron entrevistas semiestructuradas y observación participante. El análisis de los datos se realizó mediante análisis de contenido. Los estudiantes evidenciaron habilidades en el proceso de diseño, el uso del conocimiento disciplinario, el uso de habilidades, la resolución de problemas, el trabajo en equipo, la cooperación y la comunicación.

Ahora con respecto a las Máquinas de Rube Goldberg (MRG, en adelante) pueden ser definidas como una composición de piezas que realizan una tarea simple (subir cremallera o desplegar bandera). Además, su funcionamiento solo puede ser iniciado por un contacto manual que desencadena una reacción en cadena entre sus partes hasta lograr la meta (Novak, 2016). Por ejemplo, en la MRG que se aprecia en la Figura 1, la meta es apagar la vela (E). El contacto inicial es activar el péndulo (A), el péndulo hace rodar la bola del plano inclinado (B), la bola del plano inclinado se desliza y activa la cuerda de la polea (C). El valde de la polea cae sobre el fuelle (D) El peso del valde hace cerrar el fuelle, el cual expulsa aire y apaga la vela (E). Esta MRG implica la activación de 6 mecanismos o implica 6 pasos para lograr la meta.

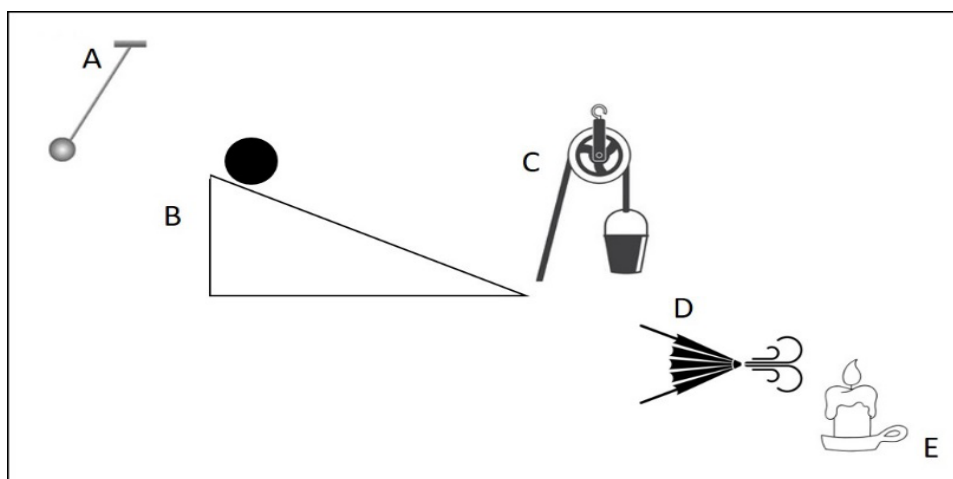


Figura 1. Ejemplo de MRG.

Las MRG son un escenario que por su naturaleza de problema abierto la meta se puede lograrse en un orden distinto de encadenamiento (Lie, et al. 2012). Es decir, que los mecanismos de la MRG de la Futura 1 se pueden ubicar en diferente orden y lograr la meta. Construir una MRG implica realizar varios ensayos y pruebas para que la reacción en cadena entre los mecanismos y pasos sea correcta. Lo anterior, es una oportunidad para formular hipótesis acerca de lo que sucede con el encadenamiento de las partes que la componen y determinar si funciona o no (Davis et al., 2024). Además, las MRG favorecen elementos conceptuales relacionados con las ciencias, la física y elementos procedimentales como la experimentación, aspectos fundamentales en el aprendizaje de la ciencia (Bedard, 1999; Compton et al., 2021). Adicionalmente, las MRG implican la puesta en marcha de habilidades de la educación de ciencias, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas propias de la educación STEAM (Elyse y Madison, 2024).

Ahora, respecto a la formulación de hipótesis, es importante mencionar que es un proceso mental por el cual se realiza una enunciación posiblemente cierta o correcta, la cual debe someterse a experimentación y verificación para validarse (Fehrenbacher, 2013; Guisasola et al., 2016). La formulación de hipótesis es un componente importante del ejercicio investigativo y del pasamiento científico (Gould, 2021). La formulación de hipótesis es un proceso cognitivo complejo que implica plantear una explicación tentativa de un fenómeno. El cual también implica examinar variables que afectan dicho fenómeno (Guisasola, 2006). La formulación de hipótesis hace parte del ciclo empírico, esto la convierte en un proceso necesario para que el conocimiento de las ciencias avance (Oh, 2009). La dificultad de los estudiantes para formular hipótesis ha sido documentada. En un primer estudio Aydoğan y Polat (2025), identificaron el estado de las habilidades de formulación de hipótesis de 42 estudiantes de sexto grado. A los participantes se les realizó la prueba de habilidades de proceso científico, además de 16 semanas de observación en el aula. Los autores encontraron que los estudiantes tienen dificultad para formular hipótesis, identificar los factores a controlar y las variables a manipular en configuraciones experimentales. También en otro estudio realizado por Guisasola et al. (2016) se examinó cómo 44 estudiantes universitarios de primer curso de ingeniería emiten hipótesis cuando se enfrentan a problemas de física. Los investigadores emplearon un esquema de categorización de las respuestas de los estudiantes en una escala de 0 a 4. Los resultados sugieren que los estudiantes emiten hipótesis sin la rigurosidad y características que un procedimiento científico requiere. Las hipótesis emitidas están más relacionadas con sus interpretaciones subjetivas y personales sobre el marco teórico estudiado (categorías 1 y 2).

Obtener resultados positivos en términos de la formulación de hipótesis de los participantes es posible como lo muestran los siguientes estudios. La habilidad de formulación de hipótesis se ve favorecida en los participantes en la medida en que se les realicen preguntas adecuadas y se les planteen situaciones prácticas y específicas de resolución problemas. Un primer estudio que muestra esta mejora en los estudiantes es el de Temiz (2020) quien evaluó la habilidad de 347 estudiante en formulación de hipótesis y la identificación de variables. Se emplearon dos experimentos en los cuales se cambiaban variables para obtener resultados diferentes. Los estudiantes lograban formular hipótesis correctas en los dos experimentos. Para lograr lo anterior, fue importante la calidad de las preguntas que se le realizaron a los participantes. Es decir, que ante las preguntas bien formuladas por el profesor los estudiantes podrían acercarse de mejor manera a resolver los experimentos y plantear mejores hipótesis.

En otro estudio Guisasola et al. (2006), exploraron cómo 83 estudiantes de primer curso de ingeniería formularon hipótesis para construir su propia estructura de resolución de problemas cuando se enfrentan a problemas de física. Los protocolos utilizados en la evaluación de las soluciones consistieron en un estudio semicuantitativo basado en rejillas diseñadas para el análisis de respuestas escritas. Se emplearon 2 situaciones de resolución de problemas y la mayoría de los estudiantes lograron plantear juicios plausibles e hipótesis congruentes.

Los estudios revisados ponen en evidencia la necesidad de favorecer las habilidades de resolución de problemas y formulación de hipótesis en estudiantes tanto escolares como universitarios (Valdez & Bungihan, 2019; Temiz, 2020; Guisasola et al., 2006). Sin embargo, favorecer estos procesos es complejo e implica implementar acciones eficaces en el aula que integren la experimentación, la reflexión y la práctica contextualizada. Como se evidenció en la revisión anterior, una forma prometedora de lograrlo es mediante la construcción de Máquinas de Rube Goldberg, las cuales, bajo orientación educativa, pueden promover competencias relacionadas con la educación STEAM (Karahan et al., 2019; Tan et al., 2023). Estas actividades constituyen un escenario motivante y desafiante para los estudiantes, invitándolos a aprender de manera activa y práctica, en contraste con algunas estrategias educativas tradicionales, como la resolución de problemas estrictamente teóricos (“un móvil que pesa 100 gramos se desplaza por una pendiente que tiene una altura de 1 m y una distancia de 2 m [...] determine el índice de rozamiento y el tiempo en que tarda en detenerse”). A pesar del valor educativo de estas estrategias, aún existe una brecha en la literatura: no se ha explorado de manera sistemática cómo se manifiestan los niveles de complejidad en la resolución de problemas y la formulación de hipótesis de manera simultánea en estudiantes universitarios de ingeniería ante problemas abiertos como la construcción de una MRG (PozueloMuñoz et al., 2023; Kähler et al., 2020; Aydoğan, 2015; Sarasola et al., 2017). Esta carencia evidencia la necesidad de investigaciones que aporten datos empíricos sobre cómo los estudiantes organizan su pensamiento, experimentan y ajustan sus hipótesis en función de los resultados obtenidos, contribuyendo así a orientar futuras intervenciones pedagógicas en educación STEAM. Teniendo en cuenta lo anterior, la pregunta que guía este estudio es: ¿Cuáles son los niveles de complejidad de la resolución de problemas y formulación de hipótesis evidenciados en 91 estudiantes de ingeniería al construir una Máquina de Rube Goldberg?

## 2. METODOLOGÍA

El diseño del estudio fue transversal (Iglesias, 2021). Se realizó un análisis del nivel de complejidad de resolución de problemas y de formulación de hipótesis de los participantes al construir una MRG. Durante la construcción de las MRG, se realizaron preguntas a los estudiantes acerca de cómo resolverían el problema y qué sucedía con el funcionamiento de la Máquina. Las respuestas de los participantes fueron registradas y analizadas según una rúbrica que evalúa el nivel de complejidad de resolución de problemas y de formulación de hipótesis por los participantes. Se realizó el análisis de 728 respuestas para caracterizar el nivel de complejidad de resolución de problemas y de formulación de hipótesis al construir MRG.

La muestra de este estudio, estuvo conformada por 91 estudiantes de ingeniería de primer año de una universidad privada de Cali – Colombia. Participaron: 35 mujeres y 56 hombres,

(M edad = 18,6 años; DS = 0,456). Los estudiantes eran mayores de edad y firmaron un consentimiento informado, aceptando la participación en el estudio. El estudio no supuso riesgo para los participantes, los nombres fueron guardados y se emplearon códigos para garantizar la reserva de anonimato de la identidad de los estudiantes. Esta investigación se rigió por el código deontológico del psicólogo en Colombia, específicamente la Ley 1090 de 2006. Además, se contó con el aval del Comité de Ética de la Universidad a la cual está vinculado este estudio.

En el estudio se cuentan con dos instrumentos: 1) La MRG escenario que permite poner en evidencia conceptos y habilidades del pensamiento científico de los estudiantes. 2) Un cuestionario para explorar los conceptos, formas de solucionar problemas y las hipótesis que son planteadas durante la construcción de la MRG. La MRG que tenían que construir los participantes tenía como meta estallar un globo que se encontraba al final de la Máquina. Los participantes contaron con los siguientes materiales: 2 bastidores de madera de 30 cm, 2 bastidores de 15 cm, 2 canaletas plásticas de 30 cm. 1 carro de juguete, 2 canicas, 10 fichas de dominó, 4 bandas elásticas, 10 clips metálicos, 4 ganchos de madera, 3 metros de cuerda, 1 imán, 4 pitillos, 2 palos de brocheta de madera, 2 tuercas metálicas, un gancho metálico, cinta adhesiva, alambre dulce y 1 globo.

Los estudiantes contaron con 50 minutos para construir la MRG y lograr la meta. Los participantes pudieron realizar todos los intentos necesarios para lograr la meta. Con el fin de caracterizar el nivel de complejidad de resolución de problemas y formulación de hipótesis de los participantes al construir la MRG durante el proceso de construcción, a cada participante se le realizó el siguiente cuestionario:

- ¿Qué crees que va a suceder?
- ¿Por qué crees que no funcionó?
- ¿Por qué crees que sí funcionó?
- ¿Cómo podrías resolver el problema?
- ¿Qué podrías hacer para que funcione mejor?
- ¿Por qué crees que pudiste resolver el problema?

Las respuestas a estas preguntas fueron consignadas por el investigador en una rejilla de observación. Las respuestas fueron codificadas a partir de los criterios de complejidad tanto de resolución de problemas como de formulación de hipótesis que se aprecian en la Tabla 1.

Tabla 1. Niveles de complejidad de resolución de problemas y formulación de hipótesis

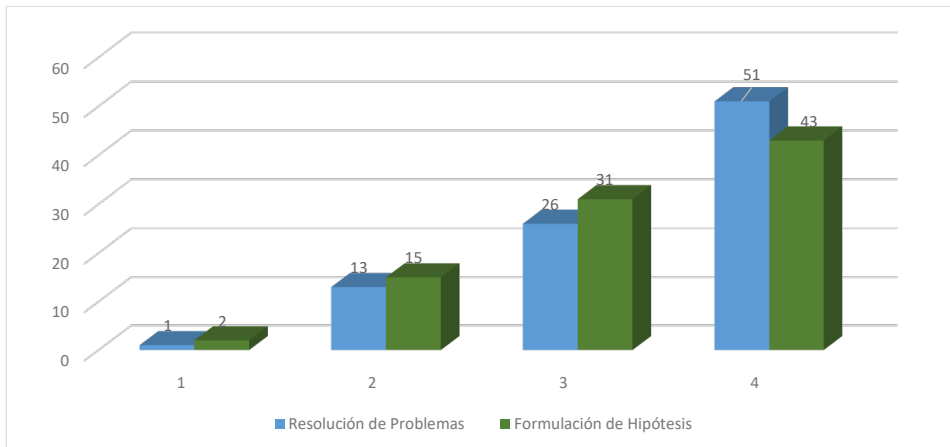
Nivel de Complejidad de Resolución de Problemas	Nivel de Complejidad de Formulación de Hipótesis
El participante identifica el problema, genera posibles soluciones y selecciona una solución para resolverlo.	La hipótesis del funcionamiento de la MRG que plantea el participante esta guiada por su conocimiento previo. El argumento que emplea no tiene en cuenta evidencias de las restricciones físicas de los mecanismos.
El participante identifica el problema, genera posibles soluciones, selecciona una solución para resolverlo e implementa una solución.	La hipótesis del funcionamiento de la MRG que plantea el participante esta guiada por el efecto logrado en el último intento de encanar los mecanismos físicos. El argumento que emplea no tiene en cuenta evidencias de las restricciones físicas de los mecanismos y los resultados de encadenar los mecanismos físicos de la MRG.
El participante identifica el problema, genera posibles soluciones, selecciona una solución para resolverlo, implementa una solución y evalúa el resultado obtenido.	La hipótesis del funcionamiento de la MRG que plantea el participante esta guiada por una explicación del funcionamiento o encadenamiento de los mecanismos físicos. En su argumento tiene en cuenta la evidencia las restricciones físicas de los mecanismos.
El participante identifica el problema, genera posibles soluciones, selecciona una solución para resolverlo, implementa una solución, evalúa el resultado obtenido y logra resolver el problema correctamente.	La hipótesis del funcionamiento de la MRG que plantea el participante esta guiada por una explicación del funcionamiento o encadenamiento de los mecanismos físicos. En su argumento tiene en cuenta la evidencia las restricciones físicas de los mecanismos y evaluación de la evidencia de los resultados obtenidos en intentos de encadenamientos previos.

Con el fin de brindar validez y confiabilidad, se realizaron las siguientes acciones. Una prueba piloto con una muestra de 15 estudiantes para verificar su comprensión de las instrucciones y el registro de datos. Esta prueba verificó que la situación diseñada estaba bien estructurada, que los elementos eran claros y que los resultados necesarios podían recopilarse. Para la validez de la construcción de la rúbrica, adaptamos las categorías basándonos en trabajos anteriores reconocidos de Setyo et al. (2024) y Kowalchuk (2019) y las comparamos con otras rúbricas utilizadas para analizar las explicaciones como indicador directo del aprendizaje de las ciencias (Bertrand y Namukasa, 2020). Por último, para validar la rúbrica definida como esquema de codificación para este estudio, se llevó a cabo un procedimiento de doble codificación entre dos investigadores capacitados. Utilizamos la prueba Kappa para determinar el nivel de acuerdo entre los codificadores al evaluar el 20 % de las respuestas. Se obtuvo un coeficiente Kappa del 93 %, lo que representa un acuerdo casi (Li et al., 2023).

Para el análisis de los datos se realizó un análisis por clúster. Lo anterior, permitió agrupar los niveles de complejidad de resolución de problemas y de formulación de hipótesis de los participantes al construir la MRG (Siburian et al., 2021). Para determinar el número de clústeres se empleó el método K-means. Para lo anterior, se empleó TANAGRA 1.4.48 (Rakotomalala, 2005), un software de minería de datos gratuito.

### 3. RESULTADOS

Los resultados evidencian que la mayoría de los participantes se encuentran en niveles altos de complejidad tanto de resolución de problemas como de formulación de hipótesis (nivel de complejidad 4, respectivamente, ver Tabla 1). La Figura 2 muestra la distribución de los participantes en los niveles de complejidad tanto de resolución de problemas como de formulación de hipótesis de los participantes al construir la MRG.



*Figura 2.* Distribución de los niveles de complejidad de resolución de problemas y formulación de hipótesis de los participantes al construir la MRG.

Las respuestas de los participantes permitieron ubicarlos en los siguientes niveles de complejidad para resolución de problemas al construir la MRG.: 51 participantes lograron identificar el problema, generaron posibles soluciones, seleccionaron una solución para resolverlo, implementaron una solución, evaluaron resultados obtenidos y lograron construir la MRG (nivel de complejidad 4). 26 participantes identificaron el problema, generaron posibles soluciones, seleccionaron una solución para resolverlo, implementaron una solución y evaluaron el resultado obtenido (nivel de complejidad 3). 13 participantes identificaron el problema, generaron posibles soluciones, seleccionaron una solución para resolverlo e implementaron una solución (nivel de complejidad 2). Un solo participante identificó el problema, generó posibles soluciones y generó una solución para resolverlo (nivel de complejidad 1).

Respecto a la formulación de hipótesis al construir la MRG 43 participantes evidenciaron una hipótesis del funcionamiento de la MRG guiada por una explicación del funcionamiento o encadenamiento de los mecanismos físicos. En su argumento tenían en cuenta las restricciones físicas de los mecanismos y la evaluación de la evidencia de los resultados obtenidos en intentos encadenamientos previos (nivel de complejidad 4). Las hipótesis de 31 participantes estaban guiadas por una explicación del funcionamiento o encadenamiento de los mecanismos físicos. En su argumento, estos participantes tenían en cuenta la evidencia y restricciones físicas de los mecanismos (nivel de complejidad 3). Para 15 participantes las hipótesis que realizaron estaban guiadas por el efecto logrado en el último intento de encadenar los mecanismos físicos. El argumento que emplearon no era que tenían en cuenta las evidencias de las restricciones físicas de los mecanismos y los resultados de encadenar los mecanismos físicos de la MRG (nivel de complejidad 2). Las hipótesis de 2 participantes están guiadas por su conocimiento previo. El argumento que emplearon era que no tenían en cuenta las evidencias de las restricciones físicas de los mecanismos (nivel de complejidad 1).

De esta primera descripción de los resultados llama la atención que el nivel 4 de complejidad de resolución de problemas está presente en más estudiantes que el nivel 4 de formulación de hipótesis. Mientras, que en los otros niveles de complejidad la relación es distinta, más participantes presentan niveles de formulación de hipótesis mayores que de resolución de problemas. Lo anterior, nos hace pensar, que los estudiantes que tienen un nivel de resolución de problemas 4 resuelven la MRG con una hipótesis definida en intentos previos antes de resolver el problema. O si los participantes de niveles de resolución de problemas 1, 2 y 3 están explorando diferentes hipótesis durante el proceso de construcción de la MRG para lograr resolver el problema de reventar el globo.

Para observar la relación entre el nivel de desempeño de resolución de problemas y la formulación de hipótesis se hizo un análisis por clústeres. Esto permitió identificar las diferentes combinaciones entre los niveles de complejidad de resolución de problemas y formulación de hipótesis de los participantes al construir la MRG. Se aplicó la técnica de clúster K-Means. Los datos sobre la complejidad de resolución de problemas y formulación de hipótesis se calificaron en una escala del 1 al 4, donde 4 indica el nivel más alto de complejidad (consulte la Tabla 1) y se analizaron utilizando el software TANAGRA 1.4.48 (Khan, G. & Karthikeyan, 2023).

La técnica de clúster reúne a los participantes que obtuvieron distintas combinaciones de los niveles de complejidad de resolución de problemas y de formulación de hipótesis. Como resultado, se identificaron 3 clústeres de combinaciones evidenciadas en los niveles de complejidad de resolución de problemas y formulación de hipótesis de los participantes al construir la MRG. En la Tabla 2 se aprecia el número de participantes para cada clúster.

Tabla 2. Clúster del nivel de complejidad de resolución de problemas y formulación de hipótesis de los participantes al construir una MRG.

Clúster	Número de Participantes
1	70
2	15
3	6

Ahora se describirá y analizará cada clúster identificado. Esta presentación se realiza del clúster con mayor número de participantes al de menor número. En la Figura 3 se aprecian las puntuaciones iguales de los participantes, tanto para resolución de problemas como para formulación de hipótesis de 70 participantes al construir la MRG. Las relaciones entre las puntuaciones de resolución de problemas y formulación de hipótesis en el nivel 4 es de 38 participantes, la relación en el nivel 3 para ambos procesos fue de 21 participantes y para el nivel 2 de complejidad estuvo presente en 11 participantes. Lo interesante de este clúster es que muestra una tendencia lineal u horizontal de los niveles de complejidad de los procesos analizados al construir la MRG.

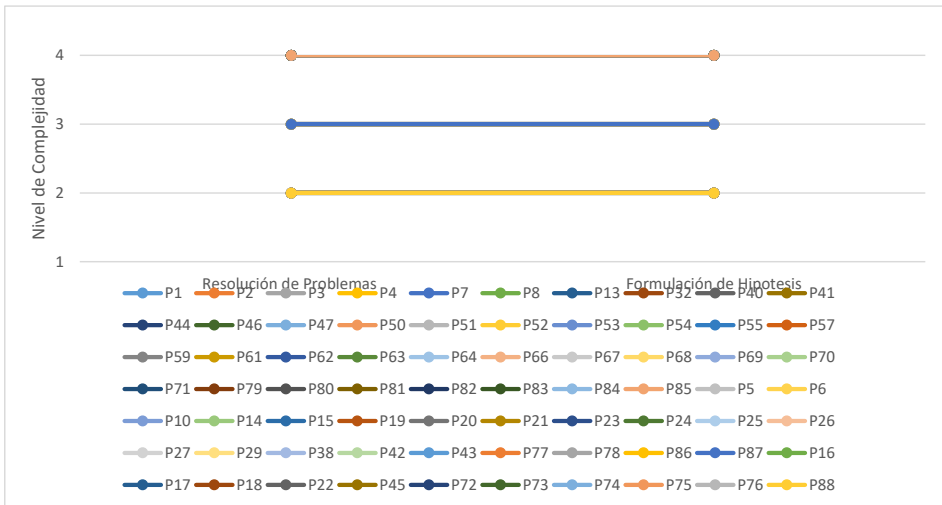


Figura 3. Clúster 1 Patrón horizontal

En la Figura 4 se aprecian las puntuaciones iguales de los participantes, tanto para resolución de problemas como para formulación de hipótesis de 15 participantes al construir la MRG. En este caso los niveles de complejidad de resolución de problemas son mayores que los niveles de formulación de hipótesis. Las puntuaciones en resolución de problemas con complejidad nivel 4 y en formulación de hipótesis 3 estuvieron presentes en

10 participantes. Mientras que 3 participantes tuvieron nivel 4 de resolución de problemas y nivel 2 de complejidad para formulación de hipótesis. En el clúster 2 un participante tiene un nivel de complejidad de resolución de problemas 2 y 1 para formulación de hipótesis. Lo interesante de este clúster es que muestra una tendencia descendente de los niveles de complejidad de formulación de hipótesis al construir la MRG.

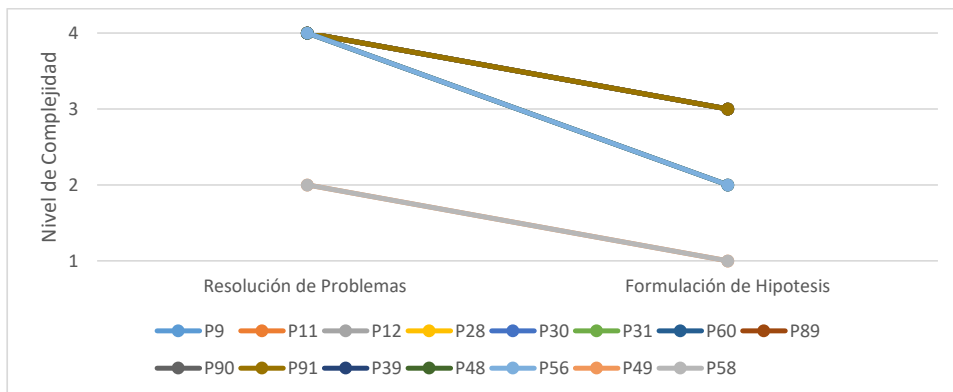


Figura 4. Clúster 2 Patrón descendente

En la Figura 4 se aprecia las puntuaciones iguales de los participantes tanto para resolución de problemas como para formulación de hipótesis de 6 participantes al construir la MRG. En este caso los niveles de complejidad de resolución de problemas son menores que los niveles de formulación de hipótesis. Las puntuaciones en resolución de problemas con complejidad nivel 3 y en formulación de hipótesis 4 están presentes en 5 participantes. Mientras, que 1 participante tiene nivel 1 de resolución de problemas y nivel 2 de complejidad para formulación de hipótesis. Lo interesante de este clúster es que muestra una tendencia lineal ascendente como se muestra en la Figura 5.

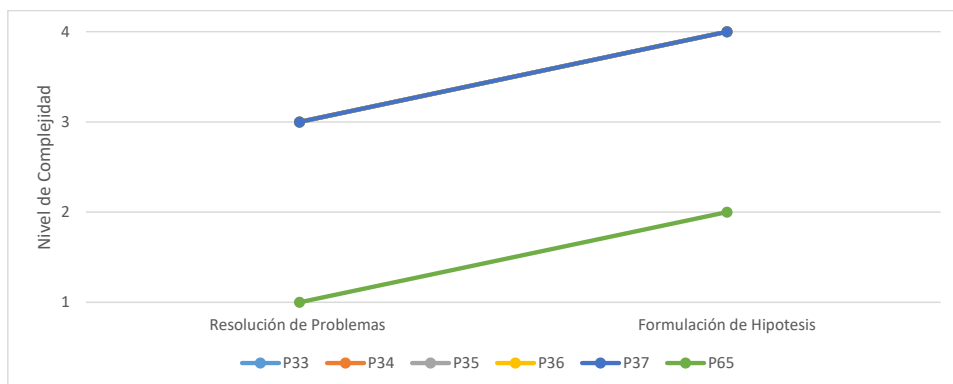


Figura 5. Clúster 3 Patrón ascendente

Los resultados del estudio revelan que la mayoría de los estudiantes de ingeniería alcanzaron niveles altos de complejidad tanto en la resolución de problemas como en la formulación de hipótesis al construir la Máquina de Rube Goldberg (MRG). Específicamente, el 56% de los participantes demostraron un nivel 4 en resolución de problemas, mientras que el 47% alcanzaron el nivel 4 en formulación de hipótesis, mostrando capacidad para plantear explicaciones coherentes del funcionamiento de la máquina basadas en evidencias y restricciones físicas, así como en los resultados de ensayos previos. Estos hallazgos evidencian que los estudiantes no solo aplican habilidades de resolución de problemas complejas, sino que también integran razonamiento científico y pensamiento crítico de manera articulada durante la actividad.

La distribución de los niveles de complejidad individuales mostró que, en la resolución de problemas, 51 participantes alcanzaron el nivel 4, 26 el nivel 3, 13 el nivel 2 y 1 participante el nivel 1. Respecto a la formulación de hipótesis, 43 participantes se ubicaron en el nivel 4, 31 en el nivel 3, 15 en el nivel 2 y 2 participantes en el nivel 1. De esta primera descripción, se observa que el nivel 4 de complejidad en resolución de problemas está presente en más estudiantes que en formulación de hipótesis, mientras que en los otros niveles ocurre lo contrario. Esto sugiere que los estudiantes con mayor nivel de resolución de problemas tienden a tener hipótesis definidas antes de resolver el problema, mientras que los participantes con niveles más bajos exploran distintas hipótesis durante la construcción de la MRG.

El análisis de clústeres permitió identificar diferentes patrones de interacción entre resolución de problemas y formulación de hipótesis mediante la técnica K-Means. Se identificaron tres clústeres: el Clúster 1 (70 participantes, 76,92%) presentó niveles equilibrados en ambos procesos, mostrando un patrón horizontal; el Clúster 2 (15 participantes, 16,48%) evidenció niveles de resolución de problemas mayores que los de formulación de hipótesis, con un patrón descendente; y el Clúster 3 (6 participantes, 6,59%) mostró niveles de resolución de problemas menores que los de formulación de hipótesis, con un patrón ascendente. Estas tendencias reflejan la diversidad de estrategias cognitivas empleadas: algunos estudiantes planifican hipótesis claras antes de resolver el problema, mientras que otros ajustan sus hipótesis de manera iterativa durante la construcción.

En conjunto, estos hallazgos destacan tres cuestiones clave: 1) la mayoría de los participantes muestra niveles altos (nivel 4) de complejidad en resolución de problemas (51 participantes = 56%) y formulación de hipótesis (43 participantes = 47%); 2) la mayoría obtiene puntuaciones equivalentes en ambos procesos (70 participantes = 76,92%); y 3) existen diferentes combinaciones posibles entre los niveles de complejidad de ambos procesos, evidenciando múltiples estrategias de interacción. Estos resultados confirman que la MRG es una herramienta pedagógica efectiva para fomentar habilidades complejas de pensamiento científico y resolución de problemas, proporcionando evidencia empírica sobre cómo los estudiantes integran ambos procesos en escenarios prácticos y desafiantes.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados revelaron que los participantes dan cuenta de altos niveles de complejidad altos de resolución de problemas y formulación de hipótesis al construir la MRG. Lo anterior, está en sintonía con el planteamiento de Tan et al. (2023) quienes sugieren que la MRG es eficiente para favorecer competencias científicas necesarias para el futuro

de los estudiantes. Los resultados evidencian que como escenario educativo STEM se favorecen conceptos físicos, la resolución de problemas y la formulación de hipótesis en los estudiantes universitarios.

En contraste, Quintanilla et al. (2018) evidenciaron que las concepciones de los profesores de química sobre la resolución de problemas científicos escolares y las competencias de pensamiento científico son fragmentadas y poco elaboradas, reflejando una visión tradicional e instrumental de la enseñanza de las ciencias. Los resultados del presente estudio, sin embargo, muestran una tendencia diferente: los estudiantes universitarios, al participar en una experiencia práctica y abierta como la construcción de la MRG, lograron articular de manera coherente la resolución de problemas y la formulación de hipótesis, alcanzando niveles altos de complejidad en ambos procesos. Esta diferencia sugiere que los contextos de aprendizaje basados en la experimentación, la creatividad y la exploración colaborativa permiten superar las limitaciones de las prácticas docentes tradicionales, promoviendo un pensamiento científico más reflexivo, integrado y contextualizado. En este sentido, la MRG se consolida como un escenario educativo que propicia el desarrollo de competencias científicas complejas, contribuyendo a cerrar la brecha entre la enseñanza tradicional de las ciencias y los enfoques contemporáneos centrados en la indagación y la resolución de problemas.

Los participantes mostraron niveles de complejidad variados, altos en su mayoría, al construir la MRG. Creemos que esto se debe en parte por tratarse de una situación problema abierta, la cual como plantea Lei et al. (2012) hace que los participantes exploren diferentes formas de solución. Lo anterior, supone un grado de complejidad mayor porque no hay una única forma de construirla. Los participantes realizan varios intentos y ajustes, estas formas de aproximarse permiten formular hipótesis para acercarse a la meta (Davis et al., 2024). Los participantes pusieron en marcha habilidades de la ciencia como la física, ingeniería y matemáticas de interés en la educación STEAM y necesarias para el futuro laboral y académico de los participantes. Específicamente respecto a la resolución de problemas, los resultados sugieren que los participantes lograron en alto grado reventar el globo con la MRG. Al intentar reventar el globo pusieron en uso conocimientos y habilidades, tomando decisiones a lo largo de los intentos de construcción (Morales-Maure, 2018). Obtener estos resultados positivos es importante ya que ante los temas de ciencia y física los estudiantes se desmotivan, así como lo reportan Pandrangi (2023) y Takase et al. (2019). Lo anterior sugiere que la construcción de MRG son escenarios idóneos para favorecer estas habilidades en ciencias, que como se dijo son deseables en el futuro académico y profesional de los estudiantes de cualquier nivel.

El alto desempeño en resolución de problemas de los participantes evidenciado en este estudio es coherente con la mejora en las habilidades cognitivas y el mejoramiento del rendimiento académico de la lógica matemáticas en 115 estudiantes universitarios al realizar actividades prácticas reportada por Gamarra y Pujay (2021). En el presente estudio se privilegió de forma práctica el empleo de artefactos como máquinas simples y la experimentación, ya que los participantes pudieron realizar todos los intentos que quisieran. El carácter práctico de la construcción de la MRG ofrece la oportunidad de aplicar el conocimiento que no se evidencia en problemas físicos de los textos universitarios como el del móvil que pesa 100 gramos mencionado en la introducción de este manuscrito.

El desempeño de los participantes fue mejor en resolución de problemas que en formulación en el cuarto nivel 51 y 43 respectivamente. Específicamente respecto a la

formulación de hipótesis. Se evidenció que los estudiantes realizan diferentes explicaciones de por qué fallaban o lograban encadenar la MRG y reventar el globo. Esta construcción de explicaciones fue evidenciada por Guisasola et al. (2006), al explorar cómo 83 estudiantes de primer curso de ingeniería formularon hipótesis para construir su propia explicación planteando juicios plausibles cuando se enfrentaban a problemas de física.

Lo anterior, se ve reflejado en los resultados obtenidos al construir la MRG, por ejemplo, al preguntarle a los participantes ¿por qué crees que pudiste resolver el problema? por ejemplo, el participante P2 respondió: “en el intento anterior la bola no llegó hasta acá entonces le pusimos más fuerza para que pudiera avanzar más”. Esta explicación pone en evidencia que las preguntas juegan un papel importante en la situación. Las preguntas de calidad en el momento adecuado sirven como andamios para favorecer su aprendizaje. Lo mencionado se relaciona con el hallazgo de Temiz (2020), quien evaluó la habilidad de 347 estudiantes en formulación de hipótesis y la identificación de variables y sugirió que ante las preguntas bien formuladas los estudiantes podrían acercarse de mejor manera a resolver los experimentos y plantear mejores hipótesis.

Retomando la resolución de problemas, el conocimiento en física, la experimentación y la formulación de hipótesis a la hora de construir la MRG en los estudiantes fue alta, esto se evidencia en resolución de problemas STEM como reporta Tan et al. (2023) con 113. En este trabajo y en el de Ten et al., 2023. Los resultados obtenidos en este estudio ponen en evidencia que la solución de problemas como la MRG permite favorecer la construcción de conocimiento al igual que los resultados obtenidos por Flores-Fuentes, y Navarro-Rangel (2020) quienes indican que los problemas reales permiten desarrollar habilidades cognitivas complejas en los estudiantes. Se puede reconocer en la MRG como situación STEAM oportunidades intencionadas, para así garantizar que estudiantes universitarios de ingeniería de primer año liguen, el conocimiento científico con la práctica de habilidades de manera eficiente.

Los resultados del presente estudio muestran que existen diferentes combinaciones posibles entre los niveles de complejidad de resolución de problemas y formulación de hipótesis al construir la Máquina de Rube Goldberg, como se evidencia en los clústeres 2 y 3. Este hallazgo es particularmente novedoso, ya que pone de manifiesto la variabilidad en cómo los estudiantes integran ambos procesos, indicando que no hay homogeneidad en las estrategias utilizadas, a diferencia de lo reportado por Guevara et al. (2016). Esta diversidad de enfoques sugiere que los estudiantes pueden planificar hipótesis claras antes de actuar o ajustar sus hipótesis de manera iterativa durante la construcción de la MRG, lo que refleja diferentes trayectorias de aprendizaje y resolución de problemas. Para futuras investigaciones, sería interesante realizar un análisis de medidas repetidas extendido en el tiempo con el fin de observar los procesos de cambio y evolución de las habilidades de resolución de problemas y formulación de hipótesis de los participantes.

Estos resultados son consistentes con investigaciones recientes que han abordado el desarrollo del razonamiento científico en contextos de resolución de problemas. En particular, López Takegami et al. (2025) encontraron que la complejidad del razonamiento científico en estudiantes aumenta progresivamente en contextos de simulación virtual, evidenciando trayectorias dinámicas de cambio desde explicaciones descriptivas hacia explicaciones causales más elaboradas. Aunque dicho estudio empleó un diseño microgenético y el presente trabajo un enfoque transversal, ambos coinciden en señalar que los procesos cognitivos asociados a la resolución de problemas y la formulación de hipótesis no son

homogéneos ni lineales, sino que presentan variabilidad y ajustes continuos en función de la interacción con la tarea. En el caso de la construcción de Máquinas de Rube Goldberg, esta dinámica se manifiesta en la coexistencia de distintos niveles de complejidad entre los participantes y en la articulación progresiva entre la acción, la experimentación y la explicación, lo cual refuerza la idea de que el aprendizaje científico emerge de procesos iterativos de prueba, error y reformulación.

Estos hallazgos contribuyen directamente a cerrar la brecha identificada en la literatura sobre la necesidad de favorecer simultáneamente la resolución de problemas y la formulación de hipótesis en estudiantes universitarios de ingeniería. La mayoría de los participantes alcanzó niveles altos de complejidad en ambos procesos, y el análisis de clústeres evidenció distintas combinaciones de desempeño que muestran cómo los estudiantes integran razonamiento científico y habilidades de resolución de problemas en un contexto práctico y abierto como la MRG. Esto evidencia que, a diferencia de estudios previos donde las habilidades se examinaban de manera aislada (Guisasola et al., 2016; Aydoğan & Polat, 2025), la MRG permite observar la interacción de ambos procesos, aportando evidencia empírica sobre cómo estas competencias se desarrollan de manera simultánea en escenarios de aprendizaje STEAM.

Además, la construcción de la MRG facilita la exploración de estrategias múltiples y fomenta la experimentación iterativa, permitiendo a los estudiantes ajustar sus hipótesis y soluciones a lo largo del proceso. Este enfoque responde a la necesidad de intervenciones educativas que superen los métodos tradicionales centrados únicamente en ejercicios teóricos o problemas cerrados (Tan et al., 2023; Karahan et al., 2019). La evidencia de variabilidad en los clústeres refuerza la idea de que las habilidades de resolución de problemas y formulación de hipótesis no son homogéneas ni lineales, sino que se desarrollan de manera diferenciada y adaptativa en contextos activos de aprendizaje. De esta manera, el estudio aporta conocimiento sobre estrategias efectivas para integrar procesos cognitivos complejos en la educación universitaria, cerrando la brecha entre la teoría de la enseñanza STEM y la práctica pedagógica basada en proyectos motivadores y significativos.

El presente estudio evidencia que la construcción de Máquinas de Rube Goldberg (MRG) constituye un escenario educativo altamente efectivo para favorecer simultáneamente la resolución de problemas y la formulación de hipótesis en estudiantes universitarios de ingeniería. La mayoría de los participantes alcanzó niveles altos de complejidad en ambos procesos, y el análisis de clústeres reveló variabilidad en las estrategias utilizadas, indicando que estas habilidades no se desarrollan de manera homogénea ni lineal. Este hallazgo aporta evidencia empírica significativa que cierra la brecha identificada en la literatura, donde se carecía de estudios que integraran ambos procesos cognitivos en un contexto práctico, abierto y motivador de aprendizaje STEM (Aydoğan & Polat, 2025; Guisasola et al., 2016; Tan et al., 2023).

Además, la investigación demuestra que las MRG permiten a los estudiantes explorar múltiples estrategias, experimentar de manera iterativa y ajustar sus hipótesis y soluciones, integrando conocimientos de física, matemáticas e ingeniería de forma activa y aplicada. Este enfoque no solo potencia competencias cognitivas complejas, sino que también genera motivación y compromiso con el aprendizaje, superando limitaciones de métodos tradicionales centrados en problemas cerrados o ejercicios teóricos. Los resultados sugieren que la implementación de este tipo de actividades en el currículo universitario puede fortalecer el desarrollo de habilidades STEAM esenciales para la formación académica y

profesional de los estudiantes. Finalmente, se plantea que futuras investigaciones amplíen este enfoque mediante estudios longitudinales y análisis de procesos de cambio a lo largo del tiempo, consolidando aún más la comprensión del desarrollo de competencias científicas complejas en contextos de aprendizaje activo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aslan, A. (2021). Problem-based learning in live online classes: Learning achievement, problem-solving skill, communication skill, and interaction. *Computers & Education*, 171, 104237. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104237>
- Astuti, F. N., Suranto, S., & Masykuri, M. (2019). Augmented Reality for teaching science: Students' problem solving skill, motivation, and learning outcomes. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 5(2), 305-312. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v5i2.8455>
- Aydoğan Ağmanalmaz, B., & Polat, M. (2025). Identifying the difficulties in developing hypothesis formation skills in science classes. *Journal of STEM Teacher Institutes*, 5(1), 21–35. Retrieved from <https://jstei.com/index.php/jsti/article/view/85>
- Aydoğan, B. (2015). Examining preservice science teachers' skills of formulating hypotheses and identifying variables. *AsiaPacific Forum on Science Learning and Teaching*, 16(1). <https://apfsl.org/article/view/16.1.12>
- Aydoğan, H., & Polat, M. (2025). Examining the hypothesis formulation skills of sixth-grade students: Challenges and instructional implications. *Journal of Science Education Research*, 18(2), 45–62.
- Bedard Jr., A. J. (1999). Enhancing Student Creativity and Respect for the Linkages Between Analysis and Design in a First Year Engineering Course. ASEE Conference and Exposition, 16.
- Bertrand, M. G., & Namukasa, I. K. (2020). STEAM education: Student learning and transferable skills. *Journal of Research in Innovative Teaching & Learning*, 13(1), 43–56. <https://doi.org/10.1108/JRIT-01-2020-0003>
- Compton, R., Meyer, R. L., Stevenson, A., & Teng, S. (2021). 4-H Engineering Design Challenge Program: Engaging Youth in STEM *Learning*. *Journal of Extension*, 59(2), Article 14. <https://doi.org/10.34068/joe.59.02.14>
- Davis, R. L., Schneider, B., Rosenbaum, L. F., & Blikstein, P. (2024). Hands-on tasks make learning visible: a learning analytics lens on the development of mechanistic problem-solving expertise in makerspaces. *Education Tech Research Dev* 72, 109–132. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10318-w>
- Elyse, A., & Madison, A. (2024) Leveraging play and Rube Goldberg machines to teach 21st century + design skills, in Gray, C., Ciliotta Chegade, E., Hekkert, P., Forlano, L., Ciuccarelli, P., Lloyd, P. (eds.), DRS2024: Boston, 23–28 June, Boston, USA. <https://doi.org/10.21606/drs.2024.1410>
- Fehrenbacher, D.D. (2013). Formulation of Hypotheses. In: *Design of Incentive Systems*. Contributions to Management Science. Physica, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33599-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33599-0_4)
- Flores-Fuentes, G., & Navarro-Rangel, Y. (2020). Perspectivas de las investigaciones en torno al conocimiento indígena y las TIC: Un enfoque de-colonial. *Revista Electrónica Educare*, 24(2), 1-21. <https://doi.org/10.15359/ree.24-2.6>
- Gamarra Astuhuaman, G., & Pujay Cristóbal, O. E. (2021). Resolución de problemas, habilidades y rendimiento académico en la enseñanza de la matemática. *Revista Educación*, 45(1), 176-189.
- Gould, R. (2021). Toward data-scientific thinking. *Teaching Statistics*, 43, S11-S22. <https://doi.org/10.1111/test.12267>
- Guevara, M., Flores, R., & Navarro, P. (2016). Microgenetic analysis of scientific reasoning in problem-solving tasks. *Cognitive Development*, 39, 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2016.01.004>

- Guevara, M., van Dijk, M., & van Geert, P. (2016). Microdevelopment of peer interactions and scientific reasoning in young children / Microdesarrollo de la interacción entre pares y el razonamiento científico en niños pequeños. *Journal for the Study of Education and Development*, 39(4), 727-771. <https://doi.org/10.1080/02103702.2016.1215083>
- Guisasola, J., Almudí, J. M., & Zubimendi, J. L. (2006). Students' hypothesis generation and variable identification in physics problem solving. *International Journal of Science Education*, 28(8), 857878. <https://doi.org/10.1080/09500690500339072>
- Guisasola, J., Barragues, J. I., & Almudí, J. M. (2016). Students' generation of hypotheses in physics problem-solving: A framework for analysis. *International Journal of Science Education*, 38(15), 2451-2470.
- Guisasola, J., Ceberio, M., & Zubimendi, J. L. (2016). El papel científico de las hipótesis y los razonamientos de los estudiantes universitarios en resolución de problemas de física. *Investigações Em Ensino De Ciências*, 8(3), 211-229.
- Iglesias, M. E. (2021). Metodología de la investigación científica: Diseño y elaboración de protocolos y proyectos (Vol. 9). Noveduc.
- Kähler, J., Hahn, I., & Köller, O. (2020). The development of early scientific literacy gaps in kindergarten children. *International Journal of Science Education*, 42(12), 1988-2007. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1808908>
- Karahan, E., Akçay, A., & Tiftikçi, C. (2019). Elementary school students designing engineering-based Rube Goldberg machine projects: A case study. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*, 10(4), 386-408. <https://doi.org/10.17569/tojqi.598606>
- Karahan, F., Alimoglu, M. K., & Yildirim, Z. (2019). Designing a Rube Goldberg machine in elementary education: Effects on problem-solving and STEAM skills. *Journal of Science Education and Technology*, 28(5), 456-468.
- Karahan, F., Koç, M., & Yıldırım, Z. (2019). Integrating Rube Goldberg machines in primary education to enhance STEAM skills. *Journal of STEM Education*, 20(3), 45-56.
- Khan, G. & Karthikeyan M. P. (2023). Implementing TANAGRA for the Visualization and Analytical Interpretation of E-commerce Datasets. *International Conference on Communication, Security and Artificial Intelligence (ICCSAI)*, Greater Noida, India, pp. 187-191, doi: 10.1109/ICCSAI59793.2023.10421548.
- Kowalchuk, P. (2019). Using Hypothesis Testing to Evaluate Key Performance Indicators in Real Time: An Edge Computing Use Case. Paper presented at the SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, Manama, Bahrain, March 2019. doi: <https://doi.org/10.2118/195023-MS>
- Lei, C. U., Kwok-Hay So, H., Lam, E. Y., Wong, K. K. Y., Kwok, R. Y. K., & Chan, C. K. Y. (2012). Teaching introductory electrical engineering: Project-based learning experience. *Proceedings of IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering*, TALE 2012, 1-5. DOI: 10.1109/TALE.2012.6360320
- Li, M., Gao, Q., & Yu, T. (2023). Kappa statistic considerations in evaluating inter-rater reliability between two raters: which, when and context matters. *BMC cancer*, 23(1), 799. <https://doi.org/10.1186/s12885-023-11325-z>
- López Takegami, J. J. K., Cabello González, V., Guevara Guerrero, M., & Montes González, J. A. (2025). Exploring Students' Scientific Reasoning During Virtual Game in STEAM Problem Solving. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 13(3), 1. <https://doi.org/10.31129/LUMAT.13.3.2795>
- Magaji, A. (2021). Promoting problem-solving skills among secondary science students through problem based learning. *International Journal of Instruction*, 14 (4). pp. 549-566. ISSN 1694-609X, 1308-1470 Doi: <https://doi.org/10.29333/iji.2021.14432a>
- Morales-Maure, L., García-Marimón, O., Torres-Rodríguez, A., & Lebrija-Trejos, A. (2018). Habilidades cognitivas a través de la estrategia de aprendizaje cooperativo y perfeccionamiento

- epistemológico en Matemática de estudiantes de primer año de universidad. *Formación universitaria*, 11(2), 45-56. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062018000200045>
- Novak, A. M. (2016). Designing and building a Rube Goldberg machine to contextualize a unit on energy. *Science Scope*, 40(4), 22.
- Oh, P. S. (2009). How can Teachers Help Students Formulate Scientific Hypotheses? Some Strategies Found in Abductive Inquiry Activities of Earth Science. *International Journal of Science Education*, 32(4), 541–560. <https://doi.org/10.1080/09500690903104457>
- Orr, M. K., & Jordan, S. S. (2019). A Rube Goldberg Approach to Teaching Dynamics of Machine Elements. *Advances in Engineering Education*.
- Pandurangi, K. (2023). Tackling Demotivation in STEM Fields: A Student's Perspective. *SFU Educational Review*, 15(1). <https://orcid.org/0009-0001-6839-9471>
- PozueloMuñoz, J., CalvoZueco, E., SánchezSánchez, E., & CascarosaSalillas, E. (2023). Science skills development through problembased learning in secondary education. *Education Sciences*, 13(11), 1096. <https://doi.org/10.3390/educsci13111096>
- Quintanilla, M., Joglar, C., Labarrere, A., Merino, C., Cuellar, L., & Koponen, I. (2018). ¿Qué piensan los profesores de química en ejercicio acerca de la resolución de problemas científicos escolares y sobre las competencias de pensamiento científico?. *Estudios Pedagógicos*, 40(2), 283–302. <https://doi.org/10.4067/S0718-07052014000300017>
- Rakotomalala, R. (2005). Tanagra: A free software for research and academic purposes. *Proceedings of EGC 2005, RNTI-E-3*, 2, 697–702.
- Sagala, N. L., & Simanjuntak, M. P. (2017). The influence of problem based learning model on scientific process skill and problem solving ability of student. *IOSR Journal of Research & Method in Education (IOSR-JRME)*, 7(4), 01-09. DOI: 10.9790/7388-0704040109
- Sarasola, A., Huebra, M., Zubimendi, J. L., & Okariz, A. (2017). Importance of the formulation of hypotheses and design of experiments in introductory laboratories. *International Journal of Engineering Education*, 33(6), 19821990.
- Setyo Tuhu, D. M., Shelly Morin, & Veni Saputri. (2024). The Relationship Between Indicators of Mathematical Problem-Solving Ability and Performance on The PISA Test: Systematic Literature Review. *Didaktika: Jurnal Kependidikan*, 13(4 Nopember), 5149-5164. <https://doi.org/10.58230/27454312.1052>
- Siburian, R., Ali, A. M. M., Sebayang, K., Supeno, M., Tarigan, K., Simanjuntak, C., & Hutagalung, F. (2021). The loading effect of Pt clusters on Pt/graphene nano sheets catalysts. *Sci Rep* 11, 2532. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80472-1>
- Takase, M., Niitani, M., Imai, T., & Okada, M. (2019). Students' perceptions of teaching factors that demotivate their learning in lectures and laboratory-based skills practice. *International journal of nursing sciences*, 6(4), 414-420.
- Tan, A. L., Ong, Y. S., Ng, Y. S., & Tan, J. H. J. (2023). STEM Problem Solving: Inquiry, Concepts, and Reasoning. *Sci & Educ* 32, 381–397. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00310-2>
- Tan, L., Wong, A., & Chua, C. (2023). Enhancing STEAM problem-solving skills through practical interventions. *Journal of STEM Education Research*, 6(2), 112130. <https://doi.org/10.1007/s41979-023-00090-4>
- Tan, S. C., Lim, C. W., & Ng, E. K. (2023). Enhancing STEM learning through Rube Goldberg machine activities: Effects on scientific thinking and problem-solving. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 12–29. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00345-1>
- Temiz, B. (2020). Assessing skills of identifying variables and formulating hypotheses using scenario-based multiple-choice questions. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 7(1), 1-17. <https://doi.org/10.21449/ijate.561895>
- Toharudin, U. (2017). Critical thinking and problem solving skills: how these skills are needed in educational psychology. *International Journal of Science and Research*, 6(3), 2004-2007. DOI: 10.21275/ART20171836

Valdez, J., & Bungihan, M. (2019). Problem-based learning approach enhances the problem solving skills in chemistry of high school students. *Journal of Technology and Science Education*, 9(3), 282-294. <https://doi.org/10.3926/jotse.631>

Valdez, L., & Bungihan, M. (2019). Effectiveness of problem-based learning in teaching chemistry concepts to high school students. *Asian Journal of Education and Training*, 5(1), 4552. <https://doi.org/10.20448/journal.522.2019.51.45.52>