South American Publishing

*SAP Gamification and Augmented Reality.* 2024; 2:72
doi: 10.56294/gr202472

ORIGINAL

# Gamified recreational exercise focused on Markov Chains

## Ejercicio lúdico gamificado enfocado a las Cadenas de Markov

Margarita Castellanos Flórez[1], Paula Andrea Duarte Amado[1], Luisa Fernanda Moreno Galvis[1]

[1]Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, Universidad Industrial de Santander. Santander, Colombia.

**Cite as**
Castellanos Flórez M, Duarte Amado PA, Moreno Galvis LF. Gamified recreational exercise focused on Markov Chains. SAP Gamification and Augmented Reality. 2024; 2:72. https://doi.org/10.56294/gr202472

**Publication History**
**Submitted:** 09-01-2024
**Revised:** 16-04-2024
**Accepted:** 14-09-2024
**Published:** 15-09-2024

**Corresponding Author**
Margarita Castellanos Flórez

**ABSTRACT**

The gamified recreational exercise focused on Markov Chains is an innovative methodology that combines learning with play to facilitate the understanding of statistical and mathematical concepts. Markov Chains are models that describe systems that transition between different states, where the probability of moving to a future state depends only on the current state and not on previous ones. By integrating game elements, such as challenges, rewards and competition, we seek to motivate students to actively engage in the learning process. This approach makes learning more engaging and gives participants a hands-on experience of how Markov Chains work in real situations. Exercises may include simulations, board games, or digital applications that represent scenarios where students must make decisions based on probabilities. Through gamification, teamwork and problem solving are encouraged, essential skills in today's world. The gamified recreational exercise is a favorable tool for teaching Markov Chains, it makes learning more dynamic and effective.

**Keywords:** Markov Chains; Recreational Exercise; Teaching-Learning; Students; Games.

**RESUMEN**

El ejercicio lúdico gamificado enfocado a las Cadenas de Markov es una metodología innovadora que combina el aprendizaje con el juego para facilitar la comprensión de conceptos estadísticos y matemáticos. Las Cadenas de Markov son modelos que describen sistemas que transitan entre diferentes estados, donde la probabilidad de pasar a un estado futuro depende únicamente del estado actual y no de los anteriores. Al integrar elementos de juego, como desafíos, recompensas y competencia, se busca motivar a los estudiantes a involucrarse activamente en el proceso de aprendizaje. Este enfoque hace que el aprendizaje sea más atractivo y que los a los participantes puedan experimentar de manera práctica cómo funcionan las Cadenas de Markov en situaciones reales. Los ejercicios pueden incluir simulaciones, juegos de mesa o aplicaciones digitales que representen escenarios donde los estudiantes deben tomar decisiones basadas en probabilidades. A través de la gamificación, se fomenta el trabajo en equipo y la resolución de problemas, habilidades esenciales en el mundo actual. El ejercicio lúdico gamificado es una herramienta propicia para enseñar Cadenas de Markov, hace que el aprendizaje sea más dinámico y efectivo.

**Palabras clave:** Cadenas de Markov; Ejercicio Lúdico; Enseñanza–Aprendizaje; Estudiantes; Juegos.

© 2024; The Authors. This Open access article is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## INTRODUCCIÓN

La investigación de operaciones (IO) es una herramienta fundamental para la ingeniería industrial, ya que proporciona métodos y técnicas para la toma de decisiones eficientes y efectivas en la gestión de los recursos y procesos. Permite la aplicación de modelos matemáticos y estadísticos para la resolución de problemas complejos en la toma de decisiones en términos gerenciales de cualquier índole; entre el propósito de estudio base de la IO se presentan diferentes trayectorias: la planificación de la producción, la gestión de inventarios, la programación de la producción y la logística. Un tema que se desglosa de la temática que aborda el enfoque de la investigación de operaciones son las cadenas de Markov, las cuales, son una herramienta estadística que permite modelar la evolución de un proceso estocástico en el tiempo.[1,2,3,4,5,6,7]

Las cadenas de Markov son importantes en el pronóstico de demandas porque permiten modelar la dependencia entre las demandas pasadas y futuras de un producto o servicio. También se presentan las limitaciones y consideraciones importantes al utilizar cadenas de Markov en el pronóstico de demandas, como la necesidad de datos precisos y confiables, la sensibilidad al tamaño de la muestra y la complejidad del proceso de modelado.[8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27]

Un estudio realizado en 2018 reveló que el 97,6 % de los estudiantes mostró mejoras significativas en la comprensión de las operaciones de ingeniería después de utilizar prácticas lúdicas en lugar de enfoques tradicionales de enseñanza. Además, una encuesta realizada en 2019 concluyó que el 92,6 % de los estudiantes dijeron que el uso de juegos para aprender mejoró sus habilidades para resolver problemas. En complementación a lo anterior, las lúdicas son importantes en el aprendizaje de cadenas de Markov, ya que permiten que los estudiantes se involucren de manera activa y lúdica en el proceso de aprendizaje.

## MÉTODO

Este estudio se realizó desde un enfoque cualitativo para explorar el impacto del ejercicio lúdico gamificado en el aprendizaje y la comprensión de las Cadenas de Markov. La metodología se estructurará en varias fases:

1. Diseño del Estudio: se desarrolló un marco teórico que integró conceptos de gamificación y Cadenas de Markov. Se revisó la literatura existente para identificar las mejores prácticas en la implementación de ejercicios lúdicos en contextos educativos.
2. Selección de Participantes: se llevó a cabo un muestreo intencional para seleccionar a un grupo diverso de participantes, que incluyó estudiantes de Ingeniería Industrial. Esto permitió obtener una variedad de perspectivas sobre la experiencia de aprendizaje descrita en el presente artículo científico.
3. Desarrollo del Ejercicio Lúdico: se diseñaron ejemplos de ejercicio gamificado que incorporan elementos de juego, como puntos, niveles y recompensas, para facilitar la comprensión de las Cadenas de Markov.
4. Presentación de Resultados: finalmente, los resultados se presentan de manera clara y accesible, se destacan las implicaciones educativas del ejercicio lúdico gamificado y su potencial para mejorar la comprensión de conceptos complejos como las Cadenas de Markov, así como otros principios fundamentales de la teoría de probabilidades y estadística. Se elaboraron fórmulas y figuras que ilustran las explicaciones clave, lo cual facilita la visualización de la explicación.

En el artículo se destacan las diferencias en la comprensión entre los distintos grupos de participantes, expone cómo factores como el trabajo en equipo y la interacción social durante el ejercicio influyeron en el aprendizaje. Finalmente, se presentan las recomendaciones para futuras implementaciones de ejercicios lúdicos en la enseñanza de conceptos matemáticos y estadísticos, así como las posibles limitaciones del estudio y áreas para investigaciones futuras. Este enfoque integral permite evaluar la efectividad del ejercicio gamificado y contribuir al desarrollo de metodologías educativas innovadoras que fomenten un aprendizaje más dinámico y significativo.

## RESULTADOS Y DICUSIÓN

### Procesos estocásticos

Por proceso estocástico se plantea que, para el análisis de una o más variables definidas aleatorias es requerido un parámetro respectivo, es decir, a cada variable aleatoria depende de un argumento o parámetro. Específicamente, se define como un conjunto de variables aleatorias denominadas como “Factor Y” (Siendo Y una distribución de probabilidad establecida), determinadas en un valor de T (Siendo T igual al tiempo).

### Definición matemática

Es un conjunto de variables aleatorias $\{Xt, \forall\ t \in T\}$, comúnmente se determina a t como el factor determinante “tiempo”.

$$P\ X1 = s1, X2 = s2, \ldots, Xn = sn$$

Dicho de otra forma, se determina que para cada instante de tiempo t le corresponde una variable aleatoria o una probabilidad distinta, siendo denominada como Xt.

### Estados

Para determinar el valor o los posibles valores en una variable aleatoria se denotan como “estados”, se desglosa un espacio en el que los estados son discretos y un espacio cuyos estados son continuos, al igual que la variable tiempo, siendo esta de tipo discreto o continuo.

https://doi.org/10.56294/gr202472

Estado discreto: caso donde los cambios de estados se definen en estándares de medición como cambios por día, por mes, por año, etc.

Estado continuo: caso donde el punto de medición se toma en cualquier instante, se toma a consideración las condiciones requeridas en el contexto de estudio.

**Tabla 1.** Estados

| | **t discreta** | **t continua** |
|---|---|---|
| X discreta | Se define como estado discreto con tiempo discreto. [Cadena] | Se define como estado discreto y tiempo continuo. [Proceso de saltos puros] |
| X continua | Se define como estado continuo y tiempo discreto | Se define como estado continuo y tiempo continuo. [Proceso continuo] |

Fuente: Hillier et al.[27]

**Cadenas de Markov**

La definición descrita en la tabla 1 de una cadena Markoviana parte de lo definido anteriormente, es decir, se apropia del concepto de proceso estocástico. Si se tiene un estado en punto cero o en presente denominado Xn y tiene antecesores conocidos tales como X1,…, Xn-1 , entonces, la probabilidad futura estimada Xn-1 solo dependerá de su estado actual, no de los estados anteriores. Siendo matemáticamente así:

P X1=s1, X2=s2, …, Xn=sn=P Xn=sn

**Matriz de transición**

Asimismo, las matrices de transición son clasificadas en:

1. Matriz estocástica: es una matriz característica por su condicionalidad de no negatividad en cualquiera de sus componentes como matriz cuadrada. Además, la suma de sus filas equivale a 1.
2. Matriz de transición en un solo paso: para este caso, se parte de una cadena de Markov con k estados establecidos s1,…, sn, adicional, cuenta con probabilidades de transición clasificadas como estacionarias, entonces:

Si Pij=P Xn=$s_i$

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1k} \\ p_{21} & \cdots & p_{2k} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{k1} & \cdots & p_{kk} \end{pmatrix}$$

**Figura 1.** Matriz

La matriz anterior se puede describir como una matriz de transición denotada P de cualquier cadena de Markov finita que establece probabilidades determinadas de transición estacionaria, es decir, es una matriz estocástica.

3. Matriz de transición en varios pasos: se define una cadena markoviana con un determinado número finito de posibles estados k y siendo la matriz de transición dada P . Matemáticamente se establece que Pij2=P Xn=si. siendo cada uno de los componentes:

Pij2: elemento definido en la i-ésima fila y en la j-ésima columna de la matriz P 2.

$P_m$: potencia de la matriz m-ésima de P, considerar cada valor de m como un periodo transcurrido o los pasos generados en una cadena de Markov.

**Diagrama de árbol**

Un diagrama de árbol es un sistema gráfico donde se representan a modo de una estructura que desglosa los posibles resultados, hallazgos o probabilidades de un contexto determinado en n cantidad de pasos o periodos de tiempo.

El ejemplo más común es el de “cara y cruz”, donde se parte de una posición inicial de la moneda que, para este caso, en el gráfico no es relevante determinar dicho punto de partida ya que las probabilidades son de 0,5 para ambas, cara y sello. Adicional, al poseer la misma probabilidad equivalente justo a la mitad cumplen con el principio markoviano, donde establece que la suma de las probabilidades de cada una de las filas debe ser igual a 1. En este caso, para cada fila se toman los valores de las probabilidades existentes en cada pico o cada par alineado (cara o cruz).[28]

https://doi.org/10.56294/gr202472

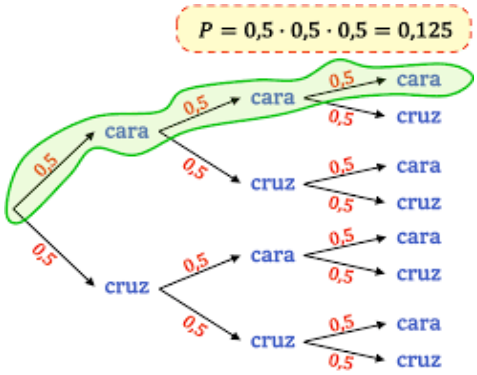



**Figura 2.** Ejemplo de diagrama de árbol cara y cruz

Las empresas se enfrentan a todo tipo de problemas, en los cuales se puede poner en riesgo la estabilidad y permanencia de estos en el mercado, por lo que se deben solventar de manera rápida y expedita mediante la herramienta de la toma de decisiones; por otro lado, la investigación de operaciones interviene con un papel fundamental dentro de esta toma de decisiones. Esta utiliza una serie de técnicas y modelos útiles, que investigan el problema en cuestión, adoptan un punto de vista organizacional, buscan la solución óptima y brindan vía de soluciones hacia la compañía, desde el cuántas cantidades producir hasta cuáles empleados se involucrarían en los procesos de producción.

Dentro de las técnicas y modelos mencionados anteriormente se encuentran las Cadenas de Markov, teoría desarrollada por Andrei Markov (1856-1922) desde el punto de vista matemático y da lugar a una nueva rama de la probabilidad. Estas son aplicadas al estudio y resolución de problemas asociados a fenómenos aleatorios reales que surgen de diversas áreas como lo pueden ser la economía, ingeniería, genética, epidemiología, entre otras.

Las cadenas de Markov se definen entonces como una secuencia de variables aleatorias que representan los estados de un determinado sistema durante una serie de intervalos de tiempo, de modo que el estado del sistema dependa únicamente de su estado en el intervalo inmediato anterior y no de los estados previos, o en resumen, estas son el estudio de la sucesión de transiciones en el tiempo de un fenómeno aleatorio, del cual se es posible estimar vectores futuros de probabilidad de los estados del sistema. La usabilidad de esta comprende principalmente del desarrollo de modelos probabilísticos para la estimación de sucesos, por ejemplo, el deterioro de pavimentos y de otros activos viales, índices de satisfacción o insatisfacción del cliente, evaluación de una enfermedad, entre otros.[29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40]

**Propósito**

La lúdica tendrá como principal objetivo el reforzar el conocimiento de las Cadenas de Markov mediante la aplicación de las mismas a una simulación de una línea de producción de tres robots, que, en conjunto con la disposición de un histórico de demanda, se deberá pronosticar la demanda entrante para cada ronda correspondiente se tiene en cuenta los costos involucrados en la producción y almacenamiento de los mismos, optimiza las utilidades de la empresa; por otro lado, está diseñado para realizarse en un salón de forma presencial, para un mínimo de 11 personas y máximo 33, con el propósito de duración estimada está en 1 hora y 40 minutos.

**Metas**

Pronosticar las demandas para cada una de las rondas de los productos mediante las Cadenas de Markov; Identificar las fallas de la línea de producción inicial, para así implementar cambios que permitan una optimización de la línea para la siguiente ronda; Obtener las mayores utilidades por ventas de los productos.

**Criterios o reglas**

Para la regulación de acciones a ejercer en la lúdica, se plantea la siguiente normativa estándar para la validación del desarrollo óptimo de la actividad:

1. Al inicio de la actividad se establecen ciertos roles, los cuales, no podrán ser modificados durante el desarrollo de la lúdica.
2. Los participantes cuentan con una limitante de capacidad de almacenamiento de producto terminado determinado por cada ronda respectivamente.
3. Solo será permitido como mínimo dos cambios en la línea de producción.
4. Cada grupo se le asigna un proveedor de materia prima específico, el cual, suministra el recurso requerido y no puede ser cambiado ni modificado. Así mismo, al tomar a consideración lo expuesto, no se permite cambiar o alterar los costos de la materia prima, ya que, estos son estándares.
5. El equipo con mayor utilidad será el ganador de la ronda.

**Plan**

En un principio, los encargados darán las indicaciones iniciales de la lúdica, lo cual involucra: temática, conceptos bases, roles

y reglas. Dentro de ello, para la primera ronda cada grupo tendrá una base de datos que contiene el histórico de demanda para partir de un supuesto estimado, donde todos los integrantes del grupo deberán analizar y proyectar una estrategia. Allí, se van a distribuir los roles y la correspondiente explicación en cada sección del área productiva. Los prototipos de los productos son (figuras 3, 4 y 5):

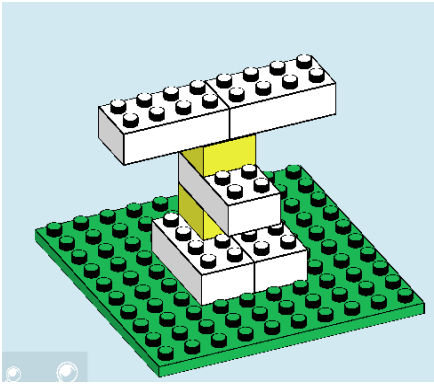


**Figura 3.** Prototipo Producto 1

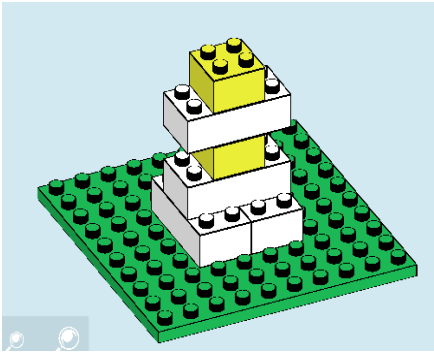


**Figura 4.** Prototipo Producto 2

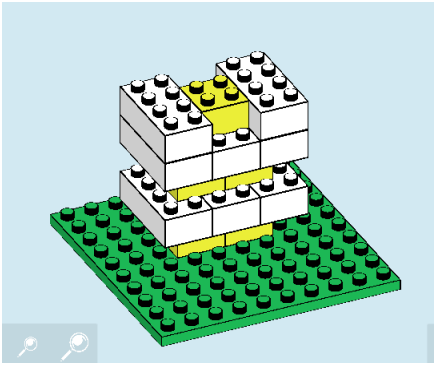


**Figura 5.** Prototipo Producto 3

Para la primera ronda, los puestos de trabajo están en desorden, por lo que, deben adaptarse al sistema y producir en función de la llegada de materia prima y el flujo de producción. Ahora bien, una vez finaliza la producción, el jefe de proposición, mientras el resto del equipo desarma para regresar la materia prima al punto de recolección. Para este punto, se darán los datos de demanda y se parte de las cadenas de Markov y después, los estudiantes analizarán el histórico para la ronda dos y plantearán una estrategia de diseño.

En la segunda ronda, se tiene una disposición adecuada por los participantes, donde se adiciona un nuevo producto, es decir, las tres líneas de producción están activas. Cabe resaltar que se realizará el mismo procedimiento para la primera ronda; en la tercera ronda, una vez finalizado el proceso productivo, los equipos deberán realizar los análisis correspondientes para así, evaluar una posible solución para cumplir con la demanda estipulada. Finalmente, el momento de la retroalimentación, mediante la participación del docente, auxiliares y puntos de vista de los estudiantes.

Es importante destacar que, en cada una de las rondas, los participantes tendrán un formato en el cual se mostrarán los costos involucrados con la fabricación de cada uno de los productos, y en dependencia de la cantidad de unidades fabricada se realizarán las operaciones correspondientes para mostrar la utilidad generada.

Recursos de entrada. Para el correcto funcionamiento de la lúdica es necesaria la cantidad aproximada de 100 legos de 4 pines, 200 legos de 8 pines, un computador por cada grupo, lápices, formatos en Excel (suministrados por los autores), hojas, medios para proyección, 20 sillas, 10 mesas.

https://doi.org/10.56294/gr202472

## RESULTADOS

Ronda 1: se espera que se fabriquen 7 unidades del producto 1 y 6 del producto 2. Se obtiene una utilidad de $605.

Ronda 2: se espera que se fabriquen 4 unidades del producto 1, 9 del producto 2 y 1 del producto 3. Se obtiene una utilidad de $1 785.

Ronda 3: se espera que se fabriquen 16 unidades del producto 1, 81 del producto 2 y 1 del producto 3. Se obtiene una utilidad de $12 165.

Para futuras implementaciones de ejercicios lúdicos en la enseñanza de conceptos matemáticos y estadísticos, es fundamental considerar la diversidad de estilos de aprendizaje de los estudiantes. Se recomienda diseñar actividades que integren elementos visuales y auditivos, que permitan que cada estudiante se involucre de acuerdo a sus preferencias. Además, es crucial fomentar un ambiente colaborativo donde los estudiantes puedan trabajar en equipo, promover el intercambio de ideas y la resolución conjunta de problemas. La incorporación de tecnología, como aplicaciones interactivas y simulaciones, puede enriquecer la experiencia de aprendizaje, hace que conceptos abstractos sean más accesibles y comprensibles. Asimismo, es importante realizar evaluaciones periódicas para ajustar las actividades a las necesidades del grupo y asegurar que los objetivos de aprendizaje se cumplan.

En cuanto a las limitaciones del estudio, se puede afirmar que la complejidad matemática de las Cadenas de Markov puede ser un obstáculo para algunos estudiantes, lo que sugiere la necesidad de desarrollar materiales didácticos que simplifiquen estos conceptos. Para investigaciones futuras, sería interesante explorar la efectividad de diferentes enfoques pedagógicos en la enseñanza de las Cadenas de Markov, así como la implementación de ejercicios lúdicos en contextos educativos variados. También se podría investigar el impacto de estas metodologías en el desarrollo de habilidades críticas y analíticas en los estudiantes, así como su relación con el rendimiento académico en matemáticas y estadísticas.

## CONCLUSIONES

En este estudio, se explicó la efectividad del ejercicio lúdico gamificado como una herramienta pedagógica para enseñar y comprender las Cadenas de Markov. A través de la implementación de actividades interactivas y dinámicas, se demostró que los estudiantes pueden mejorar significativamente su comprensión y retención de conceptos complejos asociados con las cadenas de Markov. Los resultados indican que la gamificación no solo aumenta el interés y la motivación de los estudiantes, también facilita un aprendizaje más profundo y duradero. Al transformar el proceso educativo en una experiencia más atractiva y participativa, los estudiantes son capaces de internalizar mejor los principios fundamentales de las cadenas de Markov.

Además, el enfoque lúdico permite a los estudiantes experimentar con diferentes escenarios y transiciones probabilísticas en un entorno controlado, lo cual es crucial para entender el comportamiento inherente a las cadenas de Markov. Este método también fomenta el trabajo en grupos, promueve habilidades colaborativas esenciales para resolver problemas complejos.

La integración del ejercicio lúdico gamificado en el currículo académico puede ser particularmente beneficiosa en áreas donde los conceptos abstractos presentan desafíos significativos para los estudiantes. En este contexto, la enseñanza de las cadenas de Markov se ve enriquecida por la capacidad del juego para simular procesos y permitir una exploración práctica e intuitiva.

El presente estudio sugiere que el uso del ejercicio lúdico gamificado es una estrategia efectiva para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de las cadenas de Markov. Se recomienda su adopción en cursos relacionados con teoría de probabilidades, así como en otros campos donde la comprensión profunda de modelos matemáticos complejos es esencial.

## FINANCIACIÓN

Las autoras no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

## CONFLICTO DE INTERESES

Las autoras declaran que no existe conflicto de intereses.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

*Conceptualización:* Margarita Castellanos Flórez, Paula Andrea Duarte Amado.
*Curación de datos:* Margarita Castellanos Flórez, Paula Andrea Duarte Amado.
*Análisis formal:* Paula Andrea Duarte Amado, Luisa Fernanda Moreno Galvis.
*Investigación:* Margarita Castellanos Flórez, Paula Andrea Duarte Amado, Luisa Fernanda Moreno Galvis.
*Metodología:* Margarita Castellanos Flórez, Paula Andrea Duarte Amado, Luisa Fernanda Moreno Galvis.
*Software:* Margarita Castellanos Flórez, Paula Andrea Duarte Amado, Luisa Fernanda Moreno Galvis.
*Supervisión:* Margarita Castellanos Flórez, Paula Andrea Duarte Amado, Luisa Fernanda Moreno Galvis.
*Validación:* Margarita Castellanos Flórez, Paula Andrea Duarte Amado, Luisa Fernanda Moreno Galvis.
*Visualización:* Margarita Castellanos Flórez, Paula Andrea Duarte Amado, Luisa Fernanda Moreno Galvis.
*Redacción – borrador original:* Margarita Castellanos Flórez.
*Redacción – revisión y edición:* Paula Andrea Duarte Amado, Luisa Fernanda Moreno Galvis.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arcagni A, Cerqueti R, Grassi R. Higher-order assortativity for directed weighted networks and Markov chains. European Journal of Operational Research. 2024;316(1):215-27. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.02.031

2. Ardila Otero CF, Pérez Rueda LV, Ballesteros Peña MC, Torres-Barreto ML. Diseño e implementación de un ejercicio lúdico para promover el aprendizaje de la teoría de juegos. Región Científica. 2023;2(2):2023117. https://doi.org/10.58763/rc2023117

3. Baier C, Chatterjee K, Meggendorfer T, Piribauer J. Entropic risk for turn-based stochastic games. Information and Computation. 2024;301:105214. https://doi.org/10.1016/j.ic.2024.105214

4. Bilancini E, Boncinelli L, Vicario E. Memory retrieval in the demand game with a few possible splits: Unfair conventions emerge in fair settings. Journal of Economic Dynamics and Control. 2024;165:104899. https://doi.org/10.1016/j.jedc.2024.104899

5. Bottazzi G, Giachini D, Ottaviani M. Market selection and learning under model misspecification. Journal of Economic Dynamics and Control. 2023;156:104739. https://doi.org/10.1016/j.jedc.2023.104739

6. Cárdenas-Londoño LV, Bernate-Martínez JM. Marca Región Meta, una herramienta de fortalecimiento económico y turístico para el territorio llanero. Región Científica. 2024;3(2):2024287. https://doi.org/10.58763/rc2024287

7. Escobedo-Trujillo BA, López-Barrientos JD, Garrido J, Colorado-Garrido D, Herrera-Romero JV. Constrained stochastic differential games with Markovian switchings and additive structure: The total expected payoff. Results in Control and Optimization. 2023;12:100288. https://doi.org/10.1016/j.rico.2023.100288

8. Chica M, Hernández JM, Perc M. Rewarding policies in an asymmetric game for sustainable tourism. Applied Mathematics and Computation. 2023;457:128183. https://doi.org/10.1016/j.amc.2023.128183

9. Gómez Cano CA. Ingreso, permanencia y estrategias para el fomento de los Semilleros de Investigación en una IES de Colombia. Región Científica. 2022;1(1):20226. https://doi.org/10.58763/rc20226

10. Gómez-Corral A, Lopez-Herrero MJ, Taipe D. A Markovian epidemic model in a resource-limited environment. Applied Mathematics and Computation. 2023;458:128252. https://doi.org/10.1016/j.amc.2023.128252

11. Harris PE, Insko E, Lehner F. Tipsy cop and tipsy robber: Collisions of biased random walks on graphs. Theoretical Computer Science. 2024;997:114512. https://doi.org/10.1016/j.tcs.2024.114512

12. Hoßfeld T, Heegaard PE, Varela M, Jarschel M. User-centric Markov reward model for state-dependent Erlang loss systems. Performance Evaluation. 2024;165:102425. https://doi.org/10.1016/j.peva.2024.102425

13. Huberts NFD, Thijssen JJJ. Optimal timing of non-pharmaceutical interventions during an epidemic. European Journal of Operational Research. 2023;305(3):1366-89. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.06.034

14. Miranda-Moreno VM, Sandoval-Obando E. La educación expandida en contextos educativos formales e informales. Región Científica. 2024;3(2):2024321. https://doi.org/10.58763/rc2024321

15. Imdahl C, Hoberg K, Schmidt W. Applying fixed order commitment contracts in a capacitated supply chain. European Journal of Operational Research. 2024. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.08.018

16. Kuruoglu EE, Kuo CL, Chan WKV. Sparse neural network optimization by Simulated Annealing. Franklin Open. 2023;4:100037. https://doi.org/10.1016/j.fraope.2023.100037

17. Legros B, Fransoo J, Jouini O. How to optimize container withholding decisions for reuse in the hinterland? European Journal of Operational Research. 2024;316(3):930-41. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.02.035

18. Lencastre P, Gjersdal M, Gorjão LR, Yazidi A, Lind PG. Modern AI versus century-old mathematical models: How far can we go with generative adversarial networks to reproduce stochastic processes? Physica D: Nonlinear Phenomena. 2023;453:133831. https://doi.org/10.1016/j.physd.2023.133831

19. Lin H-M, Wu J-Y, Liang J-C, Lee Y-H, Huang P-C, Kwok O-M, et al. A review of using multilevel modeling in e-learning research. Computers & Education. 2023;198:104762. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104762

20. López González YY. Aptitud digital del profesorado frente a las competencias TIC en el siglo XXI: una evaluación de su desarrollo. Región Científica. 2023;2(2):2023119. https://doi.org/10.58763/rc2023119

21. Majumdar R, Mallik K, Schmuck A-K, Soudjani S. Symbolic control for stochastic systems via finite parity games. Nonlinear

Analysis: Hybrid Systems. 2024;51:101430. https://doi.org/10.1016/j.nahs.2023.101430

22. Materwala H, Ismail L, Hassanein HS. QoS-SLA-aware adaptive genetic algorithm for multi-request offloading in integrated edge-cloud computing in Internet of vehicles. Vehicular Communications. 2023;43:100654. https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2023.100654

23. Miranda Larroza MM, Sanabria Zotelo ME. Estrategias didácticas en plataformas educativas: experiencia de docentes de Licenciatura en Administración en universidad pública de Paraguay. Región Científica. 2023;2(1):202330. https://doi.org/10.58763/rc202330

24. Sánchez V, Gómez CA. Gamification and motivation: an analysis of its impact on corporate learning. Gamification and Augmented Reality. 2024;2:26. https://doi.org/10.56294/gr202426

25. Rodríguez E, Gómez CA, Sánchez V. Application of gamification in work environment. Gamification and Augmented Reality. 2024;2:24. https://doi.org/10.56294/gr202424

26. Peñaherrera MF, Díaz IF, Dager DE, Vergara KD. The investigation of operations as an administrative tool in companies. 2020;5,5;334–349. https://www.fipcaec.com/index.php/fipcaec/article/view/328/583

27. Hillier F, Lieberman G. Introducción a la Investigación de Operaciones (McGraw-Hill & Interamericana Editores S.A de C.V. 2010. https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results

28. Probabilidad y Estadística. Diagrama de árbol | Probabilidad y Estadística. 2022. https://www.probabilidadyestadistica.net/diagrama-de-arbol/

29. Cardeño Portela N, Cardeño Portela EJ, Bonilla Blanchar E. TIC y transformación académica en las universidades. Región Científica. 2023;2(2):202370. https://doi.org/10.58763/rc202370

30. Mücke NT, Sanderse B, Bohté SM, Oosterlee CW. Markov chain generative adversarial neural networks for solving Bayesian inverse problems in physics applications. Computers & Mathematics with Applications. 2023;147:278-99. https://doi.org/10.1016/j.camwa.2023.07.028

31. Satsukawa K, Wada K, Iryo T. Stability analysis of a departure time choice problem with atomic vehicle models. Transportation Research Part B: Methodological. 2024:103039. https://doi.org/10.1016/j.trb.2024.103039

32. Schmidt M, Glaser N, Palmer H, Schmidt C, Xing W. Through the lens of artificial intelligence: A novel study of spherical video-based virtual reality usage in autism and neurotypical participants. Computers & Education: X Reality. 2023;3:100041. https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100041

33. Ruiz Díaz de Salvioni VV. Estrategias innovadoras para un aprendizaje continuo y efectivo durante emergencias sanitarias en Ciudad del Este. Región Científica. 2023;2(1):202338. https://doi.org/10.58763/rc202338

34. Panayides M, Knight V, Harper P. A game theoretic model of the behavioural gaming that takes place at the EMS - ED interface. European Journal of Operational Research. 2023;305(3):1236-58. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.07.001

35. Theodoropoulos T, Makris A, Kontopoulos I, Violos J, Tarkowski P, Ledwoń Z, et al. Graph neural networks for representing multivariate resource usage: A multiplayer mobile gaming case-study. International Journal of Information Management Data Insights. 2023;3(1):100158. https://doi.org/10.1016/j.jjimei.2023.100158

36. Tsionas MG. Bayesian learning in performance. Is there any? European Journal of Operational Research. 2023;311(1):263-82. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.04.034

37. González García JC, Lozano Pineda C, Cuartas Díaz M, Torres-Barreto ML. Ejercicio lúdico gamificado enfocado en la inteligencia emocional. Región Científica. 2023;2(1):202365. https://doi.org/10.58763/rc202365

38. Yang Z, Gong Z, Zhang Q, Wang J. Analysis of pedestrian-related crossing behavior at intersections: A Latent Dirichlet Allocation approach. International Journal of Transportation Science and Technology. 2023;12(4):1052-63. https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2022.12.003

39. Zhang W, Brandes U. Is cooperation sustained under increased mixing in evolutionary public goods games on networks?

Applied Mathematics and Computation. 2023;438:127604. https://doi.org/10.1016/j.amc.2022.127604

40. Sarmiento García HH, Vite Alejandrez C, Cruz Vite RU, González González F. Metodología Project Management Institute en modelos educativos. Caso de estudio: Academia de Edificación del programa educativo de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. Región Científica. 2024;3(1):2024269. https://doi.org/10.58763/rc2024269