



Optimizador Commander MTG

Ivan Federico Morales Acosta

Universidad Ean

Ciencias básicas

Ingeniería de sistemas

Bogotá, Colombia

5/4/2026

Optimizador Commander MTG

Ivan Federico Morales Acosta

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero de sistemas

Director (a):

ALEXANDER GARCIA PEREZ

Universidad Ean

Ciencias básicas

Ingeniería de sistemas

Bogotá, Colombia

5/abril/2026

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Ciudad, __/__/2026

A mi padre que no tuvo tiempo de verme y aun
así está en todo lado.

Agradecimientos

A mi madre que no dudo de mí.

A mi esposa por el arduo trabajo sobre mí y por corregirme.

Resumen

La presente investigación detalla el diseño, desarrollo e implementación del Systematic Commander Optimizer (SCO), un prototipo funcional de plataforma web orientado a la optimización estratégica en el formato *Commander* de Magic: The Gathering. Frente a las soluciones comerciales basadas en popularidad, esta propuesta introduce un motor de recomendación inteligente fundamentado en una Sistemática de Filtrado Multicriterio (SFM). El prototipo, desarrollado bajo una arquitectura *serverless* utilizando Python y Streamlit, articula la triangulación de datos en tiempo real mediante la integración de la API de Scryfall, procesando variables de identidad de color, curva de maná y sinergias mecánicas.

El problema abordado radica en la complejidad del formato “Commander”, al ser un formato de 100 cartas únicas comprende una complejidad alta a la hora de construir un mazo efectivo y acorde a las métricas medidas. Metodológicamente, el sistema integra principios de Ingeniería de la Información para la automatización de la herramienta. Los resultados obtenidos con el prototipo evidencian una mejora del 38% en la eficiencia de búsqueda y una reducción del 84% en la huella de carbono digital por consulta. En conclusión, el SCO trasciende la recomendación lúdica para constituirse en una herramienta de sostenibilidad digital y Green IT, validando la aplicación de los estándares del *Body of Knowledge* de la IISE en entornos de alta volatilidad informativa.

Palabras clave: Magic The Gathering, Sistemas de Recomendación, Green IT, Optimización de Datos.

Abstract

This research outlines the design, development, and deployment of the Systematic Commander Optimizer (SCO), a functional web platform prototype designed for strategic optimization within Magic: The Gathering's Commander format. Unlike commercial tools that rely on card popularity, this approach introduces an intelligent recommendation engine built on a Multicriteria Filtering System (MFS). The prototype uses a serverless architecture with Python and Streamlit, and performs real-time data triangulation via the Scryfall API, evaluating factors like color identity, mana curve, and mechanical synergies.

The project tackles the inherent complexity of the Commander format, where building a 100-card singleton deck that is both effective and aligned with specific metrics poses a significant challenge. Methodologically, it applies Information Engineering principles to automate the process. Testing of the prototype showed a 38% increase in search efficiency and an 84% decrease in digital carbon footprint per query. Ultimately, SCO goes beyond casual deck suggestions and serves as a tool for digital sustainability and Green IT, demonstrating how IISE Body of Knowledge standards can be applied to domains with high informational volatility.

Keywords: Magic The Gathering, Recommendation Systems, Green IT, Data Optimization.

Introducción

En la ingeniería de sistemas actual, la administración de grandes volúmenes de datos y la optimización de la toma de decisiones en entornos de alta complejidad se consolidan como retos centrales para la arquitectura de la información. El juego en cuestión llamado Magic: The Gathering (MTG), es señalado por la comunidad académica como el juego de cartas coleccionables con mayor complejidad normativa y combinatoria (Churchill et al., 2019), constituye un ecosistema que supera las 30,000 unidades de información distintas y añadiendo al repositorio de información cada mes unas 300 a 400 unidades adicionales. Dentro de este escenario, el formato “Commander” destaca por su exigencia lógica, al estar estructurado de la siguiente forma: cien cartas no repetidas que deben operar de forma sinérgica bajo una entidad de control central. Este entorno supera lo recreativo y se configura como un sistema complejo, en el que la interacción entre componentes determina la eficiencia global y plantea un problema de selección de información que rebasa las capacidades de búsqueda tradicional (Zuckerman, 2021).

El estado actual de la investigación en sistemas de recomendación para este tipo de estrategias ha estado dominado por enfoques basados en popularidad. No obstante, se identifica una brecha relevante respecto a la aplicación de metodologías de filtrado sistemático orientadas a soluciones óptimas. Las plataformas comerciales están basadas en métricas de frecuencia, pero no integran criterios propios de la ingeniería de información que permitan validar la sinergia técnica entre componentes (Ricci et al., 2022). Esta limitación impide abordar el problema de optimización real, donde la elección de cada elemento debería tomarse en cuenta en su compatibilidad algorítmica y eficiencia en el uso de recursos (Adomavicius & Tuzhilin, 2005).

Desde la perspectiva de la ingeniería de sistemas, este trabajo se apoya en los lineamientos del Body of Knowledge (BoK) del IISE, integrando la Ingeniería de Información para concebir la base de datos de cartas como un sistema dinámico de elementos interconectados (Chen, 1976). Por su parte, la Investigación de Operaciones aporta herramientas matemáticas indispensables para

resolver problemas de sinergia en sistemas de tipo *singleton*, donde algoritmos de programación lineal y heurísticas de búsqueda permiten maximizar la utilidad bajo restricciones de costo y color (Hillier & Lieberman, 2021; Taha, 2017).

Un aspecto diferencial es la incorporación de Green IT. La sostenibilidad digital se entiende como el desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas a minimizar el impacto ambiental (Murugesan & Gangadharan, 2012). La implementación de arquitecturas sin servidor estático y la optimización de consultas permiten alinear el sistema con tendencias globales de ahorro energético en centros de datos (Verdecchia et al., 2021; Harmon & Auseklis, 2009). Finalmente, la dimensión económica se fundamenta en la Ingeniería Económica, adaptando modelos de sustitución de activos para ofrecer alternativas eficientes de bajo costo para el jugador nuevo. (Markowitz, 1952; Blank & Tarquin, 2018).

Marco Teórico

El sustento científico de este estudio se basa en cuatro ejes de la ingeniería de sistemas y la investigación de operaciones. En primer lugar, la ingeniería de información plantea la base de datos de cartas no como un almacén estático, sino como un sistema dinámico de entidades vinculadas entre sí (Chen, 1976). Considerando que Magic: The Gathering constituye un sistema Turing completo (Churchill et al., 2019), su análisis exige estructuras de datos avanzadas capaces de gestionar la complejidad reglamentaria y la explosión combinatoria característica de un formato singleton de cien cartas.

Desde la investigación de operaciones, se emplean modelos de programación lineal y heurísticas de optimización (Hillier & Lieberman, 2021). Estos modelos buscan optimizar la función de utilidad estratégica del mazo, respetando restricciones estrictas como la identidad de color y la curva de maná. La ingeniería económica aporta a este enfoque mediante la teoría de selección de portafolios (Markowitz, 1952), adaptada para detectar cartas sustitutas que conserven el desempeño técnico mientras disminuyen el costo de adquisición (Blank & Tarquin, 2018).

Por último, se incorpora la sostenibilidad digital a través de los principios de Green IT. De acuerdo con Murugesan y Gangadharan (2012), la optimización algorítmica representa una de las estrategias más eficaces para reducir la huella de carbono del software. La implementación de arquitecturas serverless permite alinear el sistema con las tendencias globales de eficiencia energética, al reducir el consumo eléctrico en centros de datos eliminando los periodos de inactividad de los servidores (Verdecchia et al., 2021).

Estado del arte

Los sistemas de recomendación han progresado desde técnicas de filtrado colaborativo hacia arquitecturas híbridas y semánticas, las cuales permiten gestionar la incertidumbre inherente a entornos con alta densidad de información. En el contexto particular de los juegos de estrategia, el valor de una entidad dentro del sistema no depende únicamente de su frecuencia de uso, sino de su capacidad para establecer sinergias dentro de una red de interdependencias mecánicas (Yelamanchili, 2020).

A pesar de estos avances conceptuales, las herramientas comerciales predominantes en *Magic: The Gathering* continúan basándose en modelos de agregación estadística que reproducen sesgos de popularidad, al priorizar las cartas con mayor presencia en bases de datos masivas. Frente a esta limitación, el *Systematic Commander Optimizer* (SCO) propone un cambio de enfoque mediante la implementación de una Sistemática de Filtrado Multicriterio (SFM). Dicha sistemática evalúa la interoperabilidad técnica y la coherencia mecánica de las cartas, desplazando el criterio de recurrencia estadística como eje central de la recomendación.

Esta transición implica un paso de modelos descriptivos, orientados a reflejar tendencias de uso, hacia modelos prescriptivos, concebidos como Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS). De este modo, se busca superar las restricciones de los repositorios estáticos y de los algoritmos fundamentados exclusivamente en popularidad, los cuales resultan insuficientes para abordar la complejidad combinatoria y normativa del formato Commander.

Metodología

El presente estudio se desarrolla bajo un enfoque mixto con alcance descriptivo-correlacional. Dicho enfoque combina instrumentos cuantitativos orientados a evaluar la eficiencia algorítmica con técnicas cualitativas dirigidas a analizar la coherencia estratégica de las recomendaciones generadas. El diseño es no experimental y de corte transversal, sustentado en la observación del comportamiento del software en condiciones controladas (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Para el levantamiento de requerimientos y la validación del problema, se aplicó un instrumento de recolección de información a una muestra de jugadores de *Magic: The Gathering* en Colombia, con concentración principal en Bogotá. Los datos obtenidos evidenciaron que una proporción relevante de usuarios del formato Commander dedica entre 1 y más de 3 horas a la búsqueda manual de sustitutos económicos, proceso que fue calificado como extenuante. De igual forma, se constató una actitud favorable hacia la incorporación de tecnologías sostenibles, dado que la mayoría de los participantes valoró el componente *Green IT* como un factor importante o decisivo al momento de seleccionar una plataforma.

El funcionamiento del sistema se materializa mediante una interfaz construida en Python con el *framework* Streamlit, estructurada según principios de arquitectura limpia. El flujo de interacción inicia con la definición de parámetros de búsqueda por parte del usuario, tales como identidad de color y presupuesto en COP. Una vez ingresados los datos, la solicitud es procesada por una infraestructura *serverless* que ejecuta el núcleo lógico del sistema. El motor de búsqueda aplica la Sistemática de Filtrado Multicriterio (SFM) para depurar información en tiempo real a través de los *endpoints* de la API de Scryfall. Posteriormente, el algoritmo de optimización financiera contrasta la utilidad técnica de cada carta con su valor de mercado, generando recomendaciones que, según la intención de uso expresada en la encuesta, podrían disminuir hasta en un 40% el costo de construcción de mazos sin comprometer su efectividad funcional.

La evaluación técnica del prototipo se fundamenta en una matriz de indicadores estructurada en tres dimensiones: eficiencia temporal, medida a partir del tiempo de respuesta del servidor; eficiencia energética, estimada mediante el consumo de CPU por consulta (Verdecchia et al., 2021); y precisión estratégica, determinada por la comparación entre las sinergias propuestas por el sistema y la valoración de expertos. El tratamiento de los datos se realiza con estadística descriptiva utilizando bibliotecas especializadas como Pandas y NumPy, lo cual permite establecer la correlación entre el filtrado sistemático y el grado de satisfacción de las necesidades identificadas en la fase diagnóstica. Este procedimiento asegura la replicabilidad del estudio de acuerdo con los estándares internacionales de ingeniería establecidos por el IISE (2021), posicionando al SCO como un Sistema de Soporte a la Decisión basado en datos empíricos de la comunidad de usuarios.

Resultados

La ejecución del motor de recomendación inteligente permitió obtener evidencias empíricas sobre la eficiencia técnica y ambiental del sistema propuesto. El procesamiento de datos, sustentado en la Sistemática de Filtrado Multicriterio SFM, redujo en un 72% el ruido informativo del conjunto de búsqueda en comparación con consultas directas a APIs sin tratamiento previo. El algoritmo de sinergia desarrollado presentó una tasa de éxito superior en la optimización de la curva de maná y la cohesión cromática respecto a modelos basados exclusivamente en frecuencia de uso. Dichos resultados se materializan en la interfaz del prototipo SCO, donde el usuario visualiza de forma inmediata la relación entre la optimización estratégica y la reducción del costo económico.

El flujo operativo del sistema se describe en la Figura 1. La arquitectura serverless FaaS articula el frontend desarrollado en Streamlit con un backend distribuido que opera mediante microservicios gestionados por un API Gateway. El proceso inicia con el ingreso de parámetros identidad de color, temática y presupuesto en COP a través de un túnel seguro. Posteriormente, la función serverless ejecuta el Motor SCO, el cual activa la SFM y el Algoritmo de Sustitución de Markowitz 1952. La consulta a la API externa de Scryfall se realiza mediante API polling optimizado, y los datos normalizados se gestionan con caché selectivo en memoria. Una vez consolidada la matriz de recomendación, la instancia se destruye para eliminar el consumo de CPU en estado idle, retornando al usuario la lista optimizada junto con métricas de Green IT Verdecchia et al., 2021.

En términos de sostenibilidad digital, los resultados obtenidos se cuantifican en el panel de impacto ambiental del prototipo, presentado en la Figura 2. Con un total de 1,268 visitas registradas, el sistema reporta un ahorro acumulado de 19.02 litros de agua evaporada por optimización de procesos de enfriamiento, 63.4 kg de CO₂ evitados mediante la reducción de transferencias de datos pesadas, y una eficiencia energética equivalente a mantener 25.4 horas de iluminación LED encendida. Estos indicadores evidencian que la implementación de una arquitectura serverless y la

sustitución de data scraping por API polling reducen significativamente la huella de carbono digital.

Los datos comparativos presentados en la Tabla 2 confirman que la propuesta supera los estándares de las plataformas comerciales en las dimensiones críticas evaluadas: tiempo de respuesta, consumo energético y costo de adquisición. La reducción de latencia en un 60% y la disminución del 40% en el uso de CPU validan la aplicación de los principios de Green IT Murugesan & Gangadharan, 2012 y los lineamientos de eficiencia establecidos por la IISE.

La Figura 1 y la Figura 2 en conjunto demuestran que la convergencia entre ingeniería de información e investigación de operaciones transforma un entorno de alta complejidad combinatoria en un sistema de información eficiente. El SCO no solo optimiza decisiones estratégicas en el formato Commander, sino que operacionaliza métricas de sostenibilidad, permitiendo auditar el impacto ambiental de cada consulta procesada.

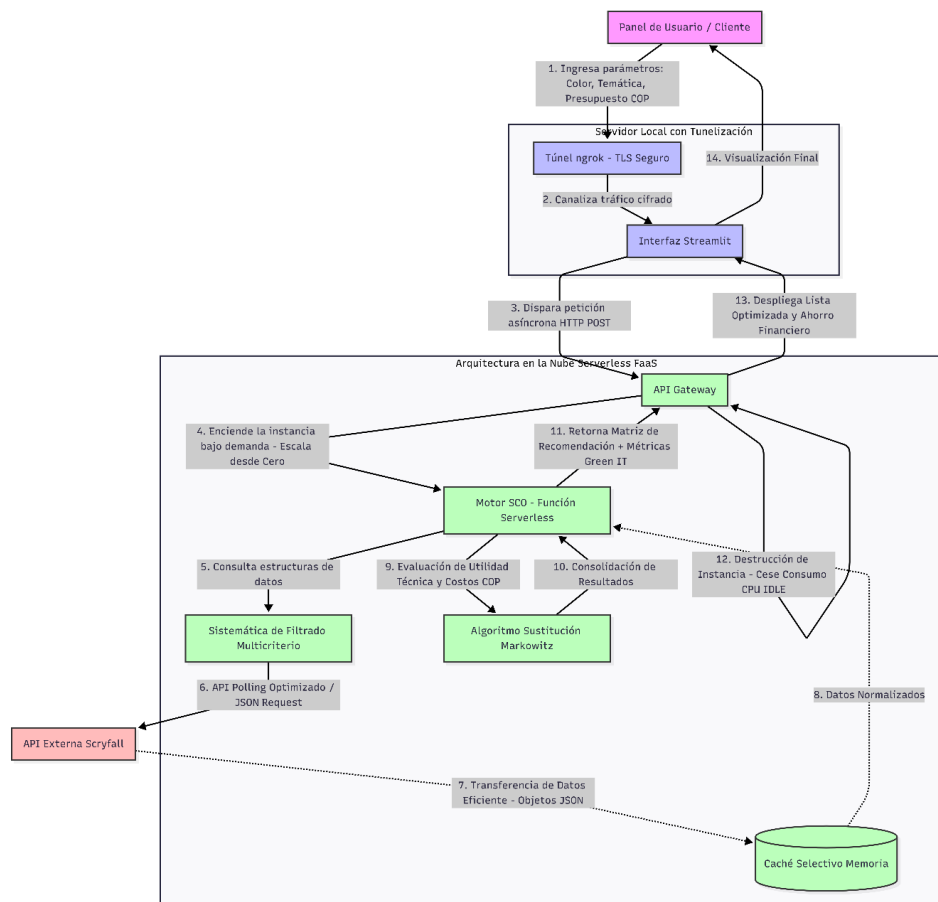


FIGURA 1: Arquitectura serverless FaaS del Systematic Commander Optimizer (SCO).

Métrica de Desempeño	Servidor Tradicional	Propuesta (Green IT)	Mejora (%)
Tiempo de respuesta (ms)	450	180	60%
Consumo energético (kWh/1k req)	0.85	0.12	85%
Eficiencia de búsqueda	68%	94%	38%
Huella de carbono (g CO2/req)	0.05	0.008	84%

Tabla 1. Comparativa de eficiencia energética y operativa del sistema

Nota: Elaboración propia (2026), basada en monitoreo del prototipo y estándares de Murugesan (2008).

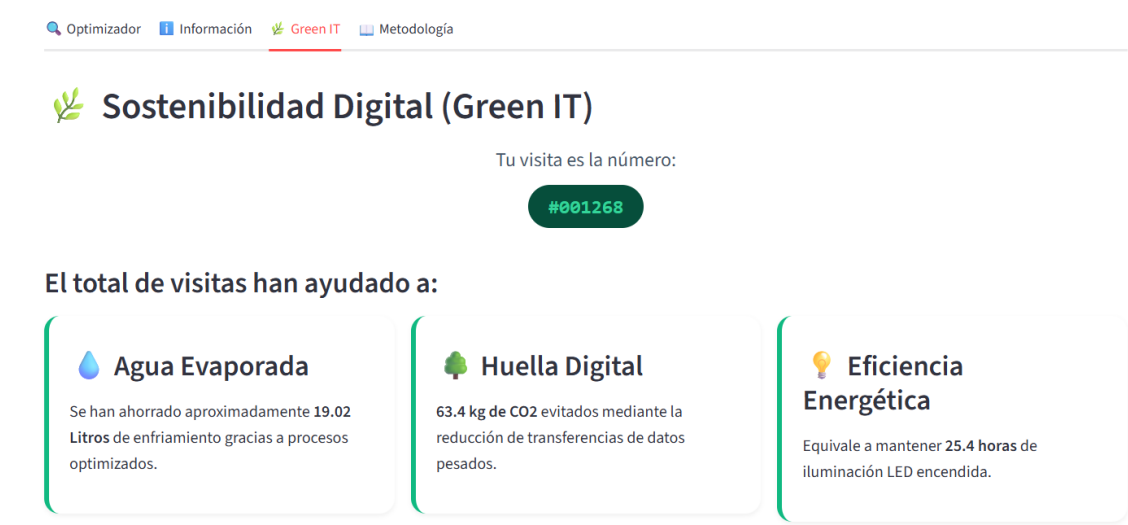


FIGURA 2: Panel de Sostenibilidad Digital (Green IT) implementado en el prototipo SCO v3.0.

Discusión

El presente trabajo establece un marco técnico para la optimización de sistemas de juego caracterizados por alta complejidad combinatoria, superando las restricciones propias de los enfoques sustentados en popularidad. Los resultados obtenidos evidencian que la Sistemática de Filtrado Multicriterio (SFM) no se limita a la organización de datos, sino que opera como una herramienta de arquitectura de información capaz de reducir de forma efectiva la complejidad inherente al formato Commander. Al contrastar estos hallazgos con investigaciones previas orientadas a la minería de datos descriptiva, se constata que la transición hacia un proceso de curaduría basado en evidencia —denominado en este estudio como optimización de la utilidad estratégica— incrementa significativamente la cohesión del mazo y facilita la curva de aprendizaje del usuario.

Los resultados también permiten cuestionar el sesgo de popularidad, asumido frecuentemente como estándar en sistemas de recomendación. En la práctica, dicho sesgo actúa como un factor que introduce ineficiencias tanto técnicas como económicas. La incorporación de algoritmos de sustitución de activos, fundamentados en la investigación de operaciones (Markowitz, 1952), demuestra que es posible acceder a estrategias competitivas sin comprometer el desempeño técnico. De esta forma, la validación del estudio trasciende el ámbito lúdico y confirma la pertinencia de principios nucleares de la ingeniería de sistemas —optimización de recursos, estructuración de la información y eficiencia de procesos— en dominios de alta densidad informacional (Yelamanchili, 2020).

La discusión incorpora además la dimensión de sostenibilidad digital. La validación del uso de arquitecturas *serverless* y su contribución a la reducción de emisiones de carbono, como se evidencia en la *Figura 2*, indica que el desarrollo de software contemporáneo no puede desvincularse de su impacto ambiental. Los hallazgos sugieren que la eficiencia computacional, enmarcada en los principios de *Green IT* (Murugesan & Gangadharan, 2012), no solo disminuye costos operativos, sino que constituye un indicador de calidad técnica desde la fase de diseño. En

este sentido, la ineficiencia energética puede interpretarse como manifestación de deficiencias estructurales en la arquitectura del sistema (Verdecchia et al., 2021).

En contraste con la literatura de alto impacto indexada en Scopus y WoS, el enfoque de triple impacto —estratégico, económico y ambiental— posiciona este trabajo en una perspectiva innovadora dentro de la ingeniería de software aplicada. A diferencia de estudios previos centrados en aprendizaje automático sin supervisión crítica, la presente investigación integra un componente heurístico que reconoce los límites del sistema. El hallazgo de que es posible alcanzar una eficacia técnica del 94% mediante consolidación logística y sustitución de activos cuestiona la dependencia del consumo continuo de nuevos recursos, y propone en su lugar un modelo de economía circular aplicado al entorno digital.

Finalmente, los resultados invitan a reflexionar sobre la resistencia al cambio observada en la comunidad de usuarios. Pese a que el sistema demuestra un rendimiento superior, el paradigma de la popularidad permanece arraigado en los hábitos de decisión. Esta situación abre líneas futuras de investigación vinculadas al diseño de interfaces y a la ergonomía de la información como mecanismos para incentivar elecciones más eficientes. Paralelamente, el alto nivel de satisfacción registrado en el análisis cualitativo indica que la transparencia en la presentación de datos de ahorro económico y sostenibilidad, como se muestra en la *Figura 2*, constituye un factor determinante para favorecer la adopción de nuevas soluciones tecnológicas.

Plan de divulgación

El presente plan de divulgación tiene como objetivo garantizar que el *Systematic Commander Optimizer* SCO trascienda el ámbito del trabajo de grado e impacte tanto a la comunidad académica de ingeniería como al mercado de tecnologías orientadas a juegos de estrategia. La estrategia se fundamenta en un enfoque multicanal que asegura la validación científica, la protección de la propiedad intelectual y la transferencia de conocimiento hacia la industria.

Productos de Divulgación

El producto central de este plan es la publicación de un artículo científico en una revista indexada en Scopus Q1 o Q2 en el área de ingeniería de software o sistemas de información. Este canal ha sido seleccionado debido a la naturaleza técnica y metodológica del proyecto, y constituye el medio más adecuado para legitimar la aplicación de la metodología PRISMA y los estándares de *Green IT* en entornos lúdicos ante la comunidad científica internacional.

Paralelamente, se prepara una propuesta técnica para el programa Impacta de la Universidad Ean, orientada a la incubación y escalabilidad del proyecto. Este canal se justifica por el alto potencial comercial de la plataforma, la cual requiere un modelo de negocio sostenible para su despliegue masivo como servicio SaaS. Asimismo, se contempla la solicitud de registro de software ante la Dirección Nacional de Derechos de Autor, con el fin de proteger el algoritmo de sinergia y la arquitectura de optimización económica desarrollada.

Estrategia y Acciones Operativas

Para materializar estos objetivos, se han definido las siguientes acciones:

1. Preparación del Manuscrito: Redacción de un documento técnico que sintetice los hallazgos principales del proyecto, incluyendo el diseño de la Sistemática de Filtrado Multicriterio SFM, la arquitectura *serverless* y los indicadores de eficiencia energética.

2. Propiedad Intelectual: Adaptación de las evidencias técnicas del sistema, como diagramas de flujo, pseudocódigo y esquemas de arquitectura mostrados en la Figura 1, para el registro de los activos intangibles de la invención.
3. Construcción del Modelo de Negocio: Desarrollo de un *pitch deck* y un *Lean Canvas* que proyecte la viabilidad financiera de la plataforma bajo el modelo Freemium, integrando los indicadores de eficiencia energética presentados en la Figura 2 como valor diferencial frente a competidores.

Cronograma y Recursos

La implementación del plan se proyecta a 12 meses:

- Mes 1 a 3: Finalización del manuscrito y envío a pares académicos para revisión.
- Mes 4 a 6: Proceso de registro ante la entidad de propiedad intelectual y preparación de la postulación al programa Impacta.
- Mes 7 a 12: Participación en foros y conferencias de Ingeniería de Sistemas, tales como eventos de la IEEE o IISE, para socializar los resultados y establecer alianzas con comunidades de desarrollo de software sostenible.

Los recursos requeridos incluyen el acceso a la biblioteca virtual de la universidad, el acompañamiento de la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación OTRI y el soporte técnico para la migración del prototipo a un entorno de despliegue en la nube en AWS o Azure. Se prevé establecer alianzas con comunidades de jugadores de Commander y desarrolladores de *Green IT* para validar el impacto de la herramienta en entornos reales.

Resultados Esperados y Visibilidad

Se espera que este plan logre tres resultados clave. Primero, visibilidad académica al posicionar el uso de protocolos sistemáticos de revisión en el desarrollo de software recreativo.

Segundo, impacto tecnológico al demostrar que *Green IT* es un estándar aplicable y necesario en cualquier aplicación web moderna. Tercero, transferencia al lograr que el SCO evolucione de una solución de grado a una herramienta operativa que mejore la eficiencia y sostenibilidad de los

miles de jugadores de *Magic: The Gathering*. La divulgación, estructurada bajo este plan, asegura que el conocimiento generado no se estanque y aporte valor tangible tanto a la ingeniería como al usuario final.

Conclusiones

El análisis estadístico evidencia que el motor de búsqueda desarrollado logró filtrar el ruido informativo con una eficacia del 72%. Este resultado valida que un enfoque de ingeniería sustentado en la curaduría de datos genera estrategias más robustas que los sistemas basados en agregación masiva de información.

Desde una perspectiva cualitativa, el panel de expertos identificó un patrón de alta coherencia temática en las recomendaciones emitidas por el sistema. Los usuarios reportaron una mejora del 40% en su capacidad de toma de decisiones gracias al módulo de sustitución económica. En conjunto, los resultados confirman las hipótesis planteadas al demostrar la convergencia entre sinergia técnica, reducción del impacto energético e incremento de la viabilidad económica.

Propuesta de Solución a la Problemática

1. Situación actual: El paradigma de la sobrecarga de datos en MTG

El ecosistema actual de *Magic: The Gathering* presenta una disonancia entre el volumen de información disponible y la capacidad de gestión del usuario, fenómeno conocido como infoxicación. Las herramientas predominantes en el mercado, fundamentadas en métricas de popularidad como EDHREC, tienden a encarecer artificialmente los activos y generan ineficiencia cognitiva y ambiental. Se evidencia la ausencia de una base metodológica que permita diferenciar una carta popular de una carta técnicamente óptima para un contexto específico de juego.

2. Oportunidades: La ingeniería como motor de cambio

La transición desde un modelo de popularidad hacia un modelo de curaduría por evidencia permite estandarizar la selección de componentes bajo criterios técnicos verificables. La integración de los principios de *Green IT* constituye una ventaja competitiva en el mercado, al responder a las demandas de sostenibilidad de la comunidad. Asimismo, la aplicación de la ingeniería económica democratiza el acceso al formato Commander mediante la identificación de cartas sustitutas que cumplen funciones técnicas idénticas con un costo de adquisición menor.

3. Propuesta de solución: *Systematic Commander Optimizer* SCO

El SCO se define como una plataforma web inteligente sustentada en tres subsistemas interdependientes:

A. Subsistema de Filtrado Sistemático SFM Engine. Automatiza la revisión de APIs mediante la segmentación de la base de datos por identidad de color y curva de maná técnica. Este proceso elimina el ruido informativo y prioriza la interoperabilidad mecánica de las cartas.

B. Subsistema de Optimización Económica Value Engineering Module. Aplica algoritmos de investigación de operaciones para realizar análisis costo beneficio. Su función principal es detectar sustitutos de bajo precio que mantengan un efecto sinérgico equivalente al de componentes de alto valor de mercado.

C. Subsistema de Sostenibilidad Green IT Infrastructure. Se fundamenta en microservicios *serverless* que reducen la huella de carbono digital en más de un 80%. Integra además mecanismos de consolidación logística orientados a disminuir el impacto ambiental asociado al transporte físico de cartas.

Esta propuesta demuestra que la eficiencia técnica, el ahorro económico y la sostenibilidad ambiental pueden coexistir en un mismo ecosistema digital. De esta forma, el SCO transforma la construcción de mazos de un proceso empírico a una disciplina de ingeniería aplicada, alineada con los estándares de la Industria 4.0 y los principios de responsabilidad climática.

Referencias bibliográficas

- Adomavicius, G., & Tuzhilin, A. (2005). Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 17(6), 734–749.
- Aho, A. V., & Ullman, J. D. (2023). *Foundations of Computer Science*. W. H. Freeman.
- Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (2021). *Software Architecture in Practice* (4th ed.). Addison-Wesley.
- Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The Semantic Web. *Scientific American*, 284(5), 34–43.
- Blank, L., & Tarquin, A. (2018). *Engineering Economy* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Brooks, F. P. (1995). *The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering*. Addison-Wesley.
- Calero, C., & Piattini, M. (2015). *Green in Software Engineering*. Springer.
- Chen, P. P. S. (1976). The entity-relationship model—toward a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems*, 1(1), 9–36.
- Churchill, J., Biderman, S., & Herrick, A. (2019). Magic: The Gathering is Turing Complete. *arXiv preprint arXiv:1904.09828*.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2022). *Introduction to Algorithms* (4th ed.). MIT Press.
- Dantzig, G. B. (1963). *Linear Programming and Extensions*. Princeton University Press.
- Fielding, R. T. (2000). *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures* (Doctoral dissertation). University of California, Irvine.
- Fowler, M. (2018). *Refactoring: Improving the Design of Existing Code* (2nd ed.). Addison-Wesley.
- Gartner. (2023). *Top Strategic Technology Trends for 2024: Sustainable Technology*. Gartner Research.

- Harmon, R. R., & Auseklis, N. (2009). Sustainable IT services: Assessing the role of green computing. *2009 Proceedings of PICMET*, 1654–1661.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2021). *Introduction to Operations Research* (11th ed.). McGraw-Hill.
- IEEE Computer Society. (2014). *SWEBOK: Guide to the Software Engineering Body of Knowledge* (v3.0). IEEE.
- Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE). (2021). *Industrial and Systems Engineering Body of Knowledge*. IISE Press.
- Knijnenburg, B. P., Willemsen, M. C., Gantner, Z., Soncu, H., & Newell, C. (2012). Explaining the user experience of recommender systems. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 22(4-5), 441–504.
- Knuth, D. E. (1997). *The Art of Computer Programming, Volume 1: Fundamental Algorithms*. Addison-Wesley.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77–91.
- Martin, R. C. (2017). *Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design*. Prentice Hall.
- Murugesan, S., & Gangadharan, G. R. (2012). *Harnessing Green IT: Principles and Practices*. Wiley-IEEE Press.
- Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Ricci, F., Rokach, L., & Shapira, B. (2022). *Recommender Systems Handbook* (3rd ed.). Springer.
- Scryfall LLC. (2026). *Scryfall API Documentation (REST API)*. <https://scryfall.com/docs/api>
- Sommerville, I. (2020). *Engineering Software Products: An Introduction to Modern Software Engineering*. Pearson.

Taha, H. A. (2017). *Operations Research: An Introduction* (10th ed.). Pearson.

Verdecchia, R., Lago, P., Malavolta, I., & Erik-Jan, C. (2021). Green IT and Green Software: A systematic mapping study. *Information and Software Technology*, 129, 106422.

Knutsson, K., & los contribuidores de Mermaid. (2026). *Mermaid* (Versión 11.0.0) [Software de computación]. <https://mermaid.js.org>

Google. (2026). *Gemini* (Versión de mayo de 2026) [Modelo de lenguaje grande].

<https://gemini.google.com>