

ESTUDIO DE MAPEO SISTEMÁTICO SOBRE LA GESTIÓN EN REDES DISTRIBUIDORAS DE CONTENIDO

Ing. Yan Carlos Sainz Martínez¹

¹Empresa de Tecnologías de la Información de Biocubafarma ETI, Calle 18 e/ 43 y 47, Playa La Habana, dirección,
¹e-mail: yancarlos.sainz@eti.biocubafarma.cu

RESUMEN

Durante las últimas décadas, el crecimiento de los servicios en la nube se ha consolidado en el mercado de las telecomunicaciones. En particular, se ha masificado el uso de las Redes Distribuidoras de Contenido (CDNs por sus siglas en inglés) por los proveedores de contenido, por lo que cada vez más se hace imperante la necesidad de la adecuada gestión de estos servicios. Como resultado, se han llevado a cabo muchos estudios que abordan diferentes formas de gestión de las CDNs. Sin embargo, es necesario un análisis de dichos estudios antes de incorporar las nuevas tendencias tecnológicas en la gestión de este tipo de redes. En este artículo se realiza un mapeo sistemático que sintetiza la investigación más destacada, llevada a cabo en la gestión de los servicios de las CDNs y de los elementos que la componen. Para realizar este artículo fueron consideradas publicaciones entre el 2005 y 2025. La búsqueda inicial recuperó 150 artículos de las bibliotecas digitales IEEE Xplore y ResearchGate, de los cuales 43 se seleccionaron para el análisis y permitieron obtener un esquema de clasificación. El estudio demuestra que la gestión de los servicios de las CDNs es un campo de investigación en curso. A pesar de no ser un término nuevo, puesto que lleva más de 20 años de uso, en la actualidad el número de publicaciones está aumentando, tendiendo hacia la gestión autónoma con la inclusión de la Inteligencia Artificial. Este artículo contribuye a iluminar las áreas de investigación sobre las CDNs que necesitan más consideración.

PALABRAS CLAVES: Redes Distribuidoras de Contenido, gestión, estudio de mapeo sistemático.

A SYSTEMATIC MAPPING STUDY OF MANAGEMENT IN CONTENT DELIVERY NETWORKS

ABSTRACT

During the last decades, the growth of cloud services has become consolidated in the telecommunications market. In particular, the use of Content Delivery Networks (CDNs) by content providers has become widespread, making the adequate management of these services increasingly imperative. As a result, many studies have been conducted that address different forms of management of CDNs. However, an analysis of these studies is necessary before incorporating new technological trends into the management of this type of network. This article carries out a systematic mapping that synthesizes the most outstanding research conducted on the management of CDNs services and their components. To carry out this article, publications between 2005 and 2025 were considered. The initial search retrieved 150 articles from the digital libraries IEEE Xplore and ResearchGate, of which 43 were selected for analysis and allowed to obtain a classification scheme. The study demonstrates that the management of CDNs services is an ongoing research field. Although it is not a new term, since it has been in use for over 20 years, the number of publications is currently increasing, trending towards autonomic management with the inclusion of Artificial Intelligence. This article contributes to illuminating the research areas on CDNs that need more consideration.

INDEX TERMS: Content Delivery Networks, management, mapping study.

1. INTRODUCCIÓN

En la era digital actual, la velocidad, disponibilidad y seguridad en la entrega de contenido son pilares fundamentales para experiencias de usuario satisfactorias. Las Redes Distribuidoras de Contenido (CDNs, Content Delivery

Networks) emergen como una solución crítica para optimizar este proceso, especialmente ante el crecimiento exponencial de datos, el streaming globalizado y las demandas de latencia cercana a cero. Este campo de estudio combina infraestructura tecnológica, estrategias de distribución y gestión operativa para asegurar eficiencia y resiliencia. Aunque esta tecnología ha traído numerosas ventajas a nuestras vidas, también provoca grandes desafíos. El desafío más importante es la gestión en cada uno de los niveles desde el negocio hasta los elementos de la red. La gestión de este tipo de redes se refiere al conjunto de capacidades que permiten el intercambio y procesamiento de información de gestión con el fin de ayudar a las administraciones a realizar sus actividades con eficiencia. Su objetivo es mejorar la disponibilidad y rendimiento de las redes y servicios e incrementar su efectividad, lográndose una mayor productividad y un aumento de la satisfacción de los usuarios.

Las CDNs son sistemas estratégicamente diseñados para optimizar la entrega de contenido mediante servidores distribuidos geográficamente. Su gestión es fundamental para garantizar la calidad del servicio, acceso de usuarios legítimos, enrutamiento óptimo, reducir la latencia y maximizar la eficiencia en el uso de recursos. Sin embargo, la administración de CDN presenta retos como la complejidad de coordinar múltiples nodos, la escalabilidad ante el creciente tráfico y la eficiencia durante picos de demanda [1].

El objetivo técnico de los proveedores de CDN es garantizar un rendimiento de entrega adecuado incluso cuando la carga de solicitudes entrantes, solo para un proveedor de contenido, es abrumadora. Las CDNs se propusieron en un inicio para distribuir principalmente contenido web estático y algunos contenidos de audio/vídeo de transmisión limitada a través de Internet. Las CDNs de primera generación se diseñaron principalmente para aliviar la congestión de la red causada por la entrega de páginas web estáticas a través de puntos de emparejamiento públicos congestionados. Sin embargo, el contexto actual para la entrega de contenidos es muy diferente al de los inicios de estas infraestructuras, que se remontan a hace casi 25 años [2]. De hecho, el escenario web se caracteriza actualmente por una mayor sofisticación y complejidad en el contenido entregado; apoyándose para su desarrollo con los paradigmas de computación en la nube, en el borde y en la niebla. Los contenidos de la web moderna suelen generarse y personalizarse de forma dinámica según las preferencias y necesidades del usuario. Las tecnologías tradicionales de entrega de contenido diseñadas para contenido estático no pueden satisfacer las nuevas necesidades, ya que existen desafíos y limitaciones inherentes que deben superarse.

Los autores de [3] afirmaron que un estudio de mapeo sistemático se utiliza para examinar, categorizar y estructurar artículos de áreas de investigación particulares en ingeniería de software. El objetivo del trabajo es adquirir conocimiento de un área de investigación a través de la clasificación. Seguimos los cinco pasos recomendados, que incluyen: definición de preguntas de investigación, búsqueda de documentos adecuados, declaración de criterios de selección, extracción de datos y el mapeo. Las principales contribuciones de este documento incluyen i) un esquema de clasificación para categorizar los artículos, y ii) un estudio de mapeo sistemático que consiste en investigaciones relacionadas durante los últimos 20 años (2005-2025) mediante el análisis de 43 artículos.

2. ANTECEDENTES Y TRABAJOS RELACIONADOS

Este capítulo sintetiza los avances recientes en CDN, abordando técnicas de optimización, integración de inteligencia artificial (IA, por sus siglas en inglés), gestión de recursos, seguridad y tendencias emergentes. La revisión se basa en estudios publicados entre 2005 y 2025, destacando contribuciones clave y desafíos pendientes, teniendo como dificultad la separación en distintas áreas ya que las investigaciones se entrelazan mostrando la IA como factor común.

La IA ha revolucionado la gestión de CDN, especialmente en la predicción de demanda y la asignación de recursos. En el artículo [4] propusieron IDEA, un modelo de difusión inteligente que combina redes neuronales LSTM con algoritmos metaheurísticos para reducir costos de comunicación, tiempo necesario para recuperar contenidos distribuidos y latencia en sistemas de caché en el borde de las CDNs. Por su parte, en [5] introdujeron PIPM, un algoritmo inteligente de prefetching que integra inteligencia artificial, introduciendo el uso innovador del mecanismo de “atención” y la búsqueda aproximada de vecinos más cercanos para asociar información histórica de recursos populares. El algoritmo utiliza el modelo LightGBM de árboles de decisión con gradiente boosting para modelar tanto características estadísticas como contextuales, basadas en la información inicial de acceso a los recursos. Este enfoque permite la predicción y el prefetching de recursos populares. Los resultados experimentales demuestran que este algoritmo inteligente de prefetching supera a los métodos existentes en términos de latencia, tasa de aciertos y tasa de retorno al origen para anticipar contenido popular, logrando un 20% de mejora en la tasa de aciertos de caché. Enfoques como los ya mencionados, superan métodos tradicionales basados en reglas estáticas, aunque su escalabilidad en

entornos multi-CDNs requiere mayor exploración como se expresa en [6] y [7]. A través de un análisis exhaustivo de casos de implementación en diversas industrias, incluidos los medios de transmisión, los juegos y el comercio electrónico, dicho artículo examina cómo los sistemas impulsados por IA optimizan la distribución de contenido a través de análisis predictivos y asignación dinámica de recursos. Investiga, además, las consideraciones de implementación técnica, los requisitos de infraestructura y los desafíos de integración, al tiempo que evalúa las métricas de rendimiento y los beneficios comerciales.

La gestión de recursos en CDN enfrenta desafíos como el balanceo de carga, la escalabilidad y el uso eficiente de energía. En [8] y [9] el autor destaca la gestión y fijación de precios de los recursos, identificando la necesidad de equilibrar costos de comunicación y latencia. Se establece un marco de trabajo de varias etapas que puede ser utilizado por los servidores de origen (SO), es decir, las entidades generadoras de contenido, para reclamar y reservar recursos de CDN de forma detallada, ya que estos son en su mayoría otros proveedores de nubes o de internet en otras localizaciones. Los recursos se tratan como existencias, y con el empleo de un esquema de reserva predictiva (PRS), los recursos de red, el volumen de tráfico (TrV), ofrecidos por una CDN se monitorean a través de técnicas bien establecidas, como los estimadores de regresión del kernel (KRE), en un período de tiempo determinado. Permitiendo establecer métricas y pautas para la evaluación de los planes de pagos más comunes como pago por uso (PAYG) y preconfigurado (PrC).

Estudios recientes, como el de [10], destacan el papel de la IA en la adaptación dinámica de tasa de bits (bitrate) y la personalización de contenido, trata sobre cómo la IA mejora la experiencia del usuario mediante sugerencias personalizadas, ajustes de calidad adaptativa e indexación y búsqueda de contenido basadas en IA. También aborda los desafíos asociados con la implementación de redes multimedia impulsadas por IA, como problemas de privacidad de datos, requisitos de recursos computacionales y cuestiones de latencia. Mientras que [11] introduce una novedosa estrategia de caché de CDN de varios niveles que navega las compensaciones espaciales y temporales en la colocación de caché. Novedad que toma como consideración que el costo de colocación de la caché disminuye con la vida útil del contenido, y la incertidumbre de las demandas futuras de datos. Diseñan además un algoritmo en línea distribuido que evalúa cada solicitud entrante y coloca nuevos alijos cuando el costo total de entrega de contenido excede un umbral, reduciendo un 50% el tiempo de adquisición de contenido. Para la gestión dinámica de la caché se consultó [12] que, en contraste con las soluciones existentes basadas en la optimización, el algoritmo propuesto es incremental. De tal manera, incurre en un costo de cálculo muy bajo, al tiempo que produce asignaciones de almacenamiento que son demostrablemente casi puntuales. Beneficios que consiguen evitar la reserva predictiva de recursos y minimizar el gasto de recursos de almacenamiento. Este se basa en datos reales y sintéticos del servicio televisión sobre IP (IPTV).

Otro de los temas de gran interés en la consulta bibliográfica es la introducción de la gestión de redes definidas por software (SDN) y su utilización en la propia gestión de los elementos de red en el contexto de la CDN, donde esto brinda control total sobre los datos y las métricas que se tienen en cuenta para la tarificación del servicio. En [13] se introduce la red de información céntrica (ICN), una de las arquitecturas de red más prometedoras para manejar el problema del rápido aumento del tráfico de datos porque permite la caché en la red. Las ICN con codificación de red lineal (LNC) pueden mejorar en gran medida el rendimiento de la caché y la entrega de contenidos. En este trabajo, se propone un marco de capa y enrutamiento de contenido seguro (SCCR) basado en SDN, para encontrar la gestión óptima de la caché y enrutamiento. Así se conseguiría la entrega de contenidos seguros, que tiene como objetivo en primer lugar minimizar el costo total del consumo de caché y ancho de banda y luego minimizar el uso de trozos aleatorios para garantizar la seguridad teórica de la información. Sin embargo, en [14] la heterogeneidad de dispositivos y protocolos sigue limitando la interoperabilidad. Tal condición resume la estructura de ventaja y los problemas de un sistema de reciente desarrollo: red distribuida de contenido definido de software (SDCDN), para tratar los recursos de redes y poder gestionarlos como marca la tendencia hacia este tipo de redes.

La forma en que los usuarios acceden a la CDN también es un punto interesante en lo que a gestión concierne, esta tecnología aleja al servidor de origen de esa funcionalidad de gestionar los usuarios y el nivel de suscripción, y demás temas de acceso. Pero también se crea un desafío, en [15] se centra en la lucha contra el uso indebido de los tokens o ficha de cliente única mediante el análisis del rendimiento y las pautas de acceso estadístico. En particular, se explora el impacto del intercambio simbólico en la infraestructura de entrega de contenidos, proponiendo la definición de límites aceptables de solicitud para detectar y bloquear los accesos anormales.

Una de las áreas funcionales a gestionar en este tipo de redes con gran importancia es la seguridad. Con respecto a este tema, el estudio [16] tiene como objetivo analizar cómo la gestión de riesgos en la cadena de suministro impacta las

operaciones de empresas dentro de la industria de CDN, con el fin de identificar oportunidades estratégicas y proponer medidas para mitigar vulnerabilidades. Para ello, se adoptó una metodología cuantitativa basada en una matriz de correlación y evaluación de impacto/probabilidad, donde la clasificación de riesgos se determinó mediante dos dimensiones: probabilidad (calculada a partir de datos históricos de incidencias, en una escala de 0 a 1) e impacto operativo (evaluado por un panel interdisciplinario de expertos y normalizado en una escala de 0 a 10). Entre los hallazgos clave, se destaca que la implementación efectiva de la gestión de riesgos exige no solo auditorías rigurosas de procesos internos. Mecanismos de coordinación flexibles en cadenas de suministro globales, donde cambios en un eslabón pueden requerir ajustes en múltiples entidades asociadas, constituyen también cortafuegos de riesgos. No obstante, su adopción fortalece la resiliencia organizacional, mejorando la estabilidad operativa en un 40% según los datos recopilados. En cuanto a las limitaciones, el estudio se circunscribe a un solo actor de la industria, por lo que sus conclusiones son específicas al contexto analizado, y se recomienda precaución al generalizar los resultados. A pesar de esto, el marco metodológico propuesto, validado en un entorno empresarial real, es replicable en otras organizaciones, ofreciendo una guía práctica para optimizar la toma de decisiones en escenarios de incertidumbre. Como contribución original, esta investigación representa una de las primeras exploraciones sistemáticas de la gestión de riesgos en CDN. Representando la ampliación del conocimiento teórico, proporcionando herramientas aplicables para reducir brechas críticas en la cadena de valor, como la dependencia de proveedores únicos o la exposición a interrupciones geopolíticas.

La seguridad en CDN se ha enfocado en combatir ataques de denegación de servicio distribuidos (DDoS) y acceso no autorizado. En [8] se utiliza estimadores de kernel para monitorear tráfico y activar subastas electrónicas que redistribuyen recursos no utilizados, mitigando el 90% de los ataques por sobrecarga. En el ámbito de la privacidad, [17] propone un sistema de encriptación jerárquico que reduce un 60% la sobrecarga de gestión de claves en entornos multi-nube.

Estándares y normas asociados

En los artículos [18] y [19], la dirección de contenidos para DASH (ETSI TS 103 998) habla de un nuevo estándar desarrollado por el DASH Industry Forum (DASH-IF), definiendo las posibilidades para gestionar la entrega de medios utilizando múltiples CDNs. En el nivel de interacción servidor-cliente, este estándar es compatible con las funciones de dirección CDN de HLS (IETF RFC 8216bis), permitiendo efectivamente que los mismos servidores de dirección de contenido controlen la entrega tanto para las distribuciones HLS como para DASH. Este artículo repasa la historia de la creación de este estándar, explica sus principios de operación y discute sus diversas características, utilidades y beneficios. El documento también estudia las implementaciones disponibles de clientes y servidores en streaming que apoyan esta norma y los esfuerzos en curso en las organizaciones DASH-IF y Streaming Video Technology Alliance (SVTA). Ante las contribuciones al despliegue de esta tecnología en la industria, el trabajo presenta los resultados de un análisis experimental de sistemas de entrega multi CDNs realizado por SVTA. Estos resultados muestran mejoras significativas de calidad de experiencia de usuario (QoE) logradas por un sistema utilizando la dirección de contenido.

El documento [18] aborda casos de uso críticos para la industria de CDN, enfocándose en escenarios que requieren la implementación de interfaces abiertas y protocolos estandarizados para facilitar la interconexión entre CDNs independientes. Este trabajo, alineado con estándares como los RFC 3570, 6770 y 6707, establece un marco técnico para definir los requisitos de las interfaces de interconexión (CDNI), permitiendo una colaboración eficiente entre proveedores. La arquitectura CDNI se compone de cuatro interfaces clave:

- Interfaz de redireccionamiento de solicitudes (CDNI-RI): Habilita la consulta de información técnica entre CDN para optimizar rutas.
- Interfaz de metadatos (CDNI-MI): Estandariza el intercambio de datos críticos como restricciones geográficas o políticas de acceso.
- Interfaz de registro (CDNI-LI): Unifica el reporte de métricas operativas para auditoría y análisis.
- Interfaz de control (CDNI-CI): Permite invalidar contenido en CDN remotas para garantizar consistencia.

Estas especificaciones no solo mejoran la interoperabilidad en entornos multi-proveedor, sino que también optimizan la experiencia del usuario final al reducir latencias y asegurar el cumplimiento normativo. Consiguiendo consolidarse como pilares para construir ecosistemas de entrega de contenido resilientes y escalables en un mercado globalizado. Este estándar se venía trabajando desde 2011 con el Grupo de Trabajo de Administración Distribuida (DMTF) como

se ve en [20] con el fórum de servicios en la nube y sus formas de interconexión en empresas de alianzas como ATIS y otros grupos de estandarización como el Fórum Global de Tecnología Inter-Nube (GICTF) y el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI).

3. METODOLOGÍA

Este estudio se hace según las pautas para el mapeo sistemático proporcionadas por [3]:

Objetivo y preguntas de investigación

El estudio identifica, examina y sintetiza los artículos de investigación publicados en los últimos veinte años en la gestión de las CDNs. Este trabajo de mapeo aborda las siguientes preguntas de investigación:

PI1: ¿Cuántos artículos introducen métodos/técnicas, herramientas, modelos, marcos, análisis comparativos o procesos?

PI2: ¿Cuáles son los métodos de investigación utilizados en los trabajos? Se propone la siguiente clasificación de métodos de investigación: (1) propuesta de solución, (2) documentos de experiencia, (3) investigación de evaluación, (4) investigación de validación y (5) documentos de opinión.

PI3: ¿Qué tipos de técnicas y tecnologías se utilizan para abordar los desafíos de gestión en CDNs?

PI4: ¿Cuál es el número anual de publicaciones o la tasa de publicación en este campo?

PI5: ¿Cuáles son las brechas de investigación y las posibles direcciones futuras en la gestión de CDNs?

PI6: ¿Cuáles son las métricas de rendimiento más utilizadas para evaluar la eficacia de las técnicas de gestión de CDNs?

Estrategia de búsqueda y selección

Se extrajo de las bases de datos científicas IEEE Xplore y ResearchGate los artículos publicados entre 2005 y 2025, incluidas en el grupo escogido. Las palabras clave de búsqueda se han identificado utilizando la técnica PICO (Población, Intervención, Comparación y Resultados) en idioma inglés, sugerida por [21] para formular cadenas de búsqueda a partir de preguntas de investigación. Las palabras clave identificadas son “Content Delivery Network”, “CDN”, “Management”. Además, se incorporó las áreas funcionales de la gestión como búsqueda secundaria “Fault Management”, “Configuration Management”, “Security Management”, “Accounting Management”, “Performance Management”. Se formuló la cadena de búsqueda junto con sus sinónimos como se muestra en la Fig. 1.

(Content Delivery Network OR CDN) AND (Management) OR
(Fault Management OR Configuration Management OR
Security Management OR Accounting Management OR
Performance Management)

Figura 1: Palabras Clave

Criterio de inclusión y exclusión

Los artículos se seleccionan en función de los títulos y resúmenes, las palabras clave y la lectura de la sección de evaluación, como se sugiere en [8]. Se revisó cada artículo varias veces para aumentar la fiabilidad. Después de aplicar los criterios de selección a 150 artículos, el tamaño de la colección disminuyó a 43. La lista de 43 artículos se puede encontrar en el repositorio en línea [22]. La lectura del texto completo del documento se tiene en cuenta solo en caso de duda. Los criterios de inclusión aplicados a la colección de títulos y resúmenes requerían que:

1. Los artículos de investigación se basarán en evidencia empírica relacionada con los métodos de gestión en las CDNs.
2. Si se reportaban varios artículos del mismo autor con el mismo resultado, solo se consideraba el último estudio y más completo.
3. Los estudios fueran publicados entre el 2005 y el 2025. Se excluyeron los resúmenes, editoriales, estudios no revisados por pares, estudios en otros idiomas y libros y revistas.

Esquema de clasificación y extracción de datos

Un esquema de clasificación también se conoce como mapa sistemático, y la Tabla 1 muestra cómo cada atributo se asigna a una pregunta de investigación. El esquema de clasificación se crea de forma iterativa mientras se recopilan los datos. Después de desarrollar el esquema de clasificación, los artículos se clasifican utilizando el esquema. El repositorio en línea registra los números de publicaciones en cada clasificación [22]. A continuación, se muestra la Tabla 1.

Tabla 1: Atributos de las preguntas de investigación.

Atributos	Preguntas de Investigación
Tipo de contribución	PI1
Enfoque metodológico	PI2
Tecnologías y técnicas específicas	PI3
Distribución temporal de publicaciones.	PI4
Brechas y oportunidades	PI5
Indicadores de rendimiento	PI6

4. RESULTADOS DEL MAPEO

En esta sección abordamos cada una de las preguntas de investigación. Para la PI 1 la Fig. 2 muestra la distribución de los artículos por tipo de contribuciones para los 43 artículos del estudio. Algunos artículos se clasifican en más de un tipo en función de su contribución. La mayoría de estas contribuciones se centran en métodos y técnicas de gestión, especialmente para el almacenamiento en caché y la optimización de recursos, seguidos por modelos y marcos conceptuales. Se observa una tendencia creciente hacia la incorporación de tecnologías de inteligencia artificial y consideraciones de eficiencia energética en las soluciones propuestas para CDN.

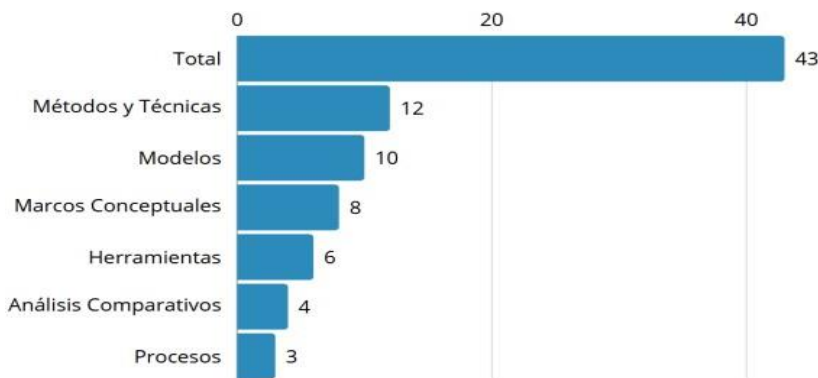


Figura 2: Tipo de contribución

Para la PI2 se muestra la Fig. 3 donde la mayoría de los trabajos se centran en la propuesta de solución, reflejando un enfoque orientado a resolver problemas específicos dentro del ámbito técnico y operativo de las redes CDNs. Por otro

lado, la validación y evaluación complementan estas propuestas con pruebas prácticas y comparativas, mientras que los documentos basados en experiencia y opinión son menos comunes, pero aportan perspectivas valiosas.



Figura 3: Métodos de investigación.

Para la PI3, en el ámbito de las CDNs la gestión eficiente presenta desafíos multifacéticos que impulsan la innovación en diversas técnicas y tecnologías. Entre estas, destaca la optimización de rutas mediante inteligencia artificial, que busca minimizar costos y maximizar la eficiencia en la entrega de contenido [23]. La gestión de caché se beneficia de técnicas dinámicas y modelos inteligentes como IDEA [4] y PIPM [5], así como del uso de metadatos de redes sociales para una gestión más adaptativa [24]. La gestión de recursos se aborda con enfoques inteligentes en el borde de la red [7] y métodos jerárquicos complejos [25]. La eficiencia energética emerge como una preocupación clave, impulsando la gestión conjunta de energía y calidad de experiencia QoE [26] y la gestión consciente de la energía en centros de datos [27]. En seguridad, se exploran sistemas de gestión de claves jerárquicas como STYX [17] y estrategias de enrutamiento seguro [13]. Finalmente, arquitecturas como SDN [14] y marcos de gestión adaptativa [28] contribuyen a una gestión más flexible y eficiente de las CDNs. Para la PI4, se muestra la Tabla 2 con los resultados.

Tabla 2: Número anual de investigaciones en el campo.

Año	Número de Publicaciones
2005	1
2007	1
2008	4
2010	1
2011	2
2012	1
2013	1
2014	3
2015	1
2016	2
2017	1
2018	1
2020	3
2021	1
2022	4
2023	1
2024	7
2025	6

Para responder a la PI5 se realizó un análisis de los resúmenes y resultados de cada uno de los artículos seleccionados. Se resumen 5 brechas y futuras direcciones para las investigaciones, como a continuación se presentan:

- Integración de la IA: Se determina que a pesar de que son varios estudios los que exploran el uso de IA para la optimización de rutas [23] y la gestión de recursos [7], la aplicación de técnicas de IA más avanzadas como el aprendizaje profundo y el aprendizaje por refuerzo, aún está en sus primeras etapas. Como dirección futura se propone: investigar modelos de IA que puedan adaptarse dinámicamente a las condiciones cambiantes de la red y predecir patrones de tráfico para una gestión proactiva de los recursos, y lograr el máximo de gestión autónoma de este tipo de redes.
- Optimización energética en CDN: A pesar del creciente interés en la gestión energética [26] y [27] faltan estudios que aborden la optimización energética en CDN de manera integral, considerando tanto el consumo de energía de los servidores como el impacto de la ubicación de los centros de datos. Como dirección futura se propone desarrollar modelos y algoritmos que permitan la gestión óptima de la energía en CDNs, teniendo en cuenta factores como la demanda de contenido, la ubicación geográfica de los usuarios y las fuentes de energía renovable.
- Seguridad y privacidad: En cuanto a seguridad y privacidad se han propuesto sistemas de gestión de claves jerárquicas (STYX) y estrategias de enrutamiento seguro [13]. La seguridad y la privacidad siguen siendo preocupaciones importantes en las CDNs, especialmente en el contexto de la creciente cantidad de datos personales que se transmiten a través de estas redes. Como dirección futura se alienta a investigar técnicas de cifrado avanzadas y mecanismos de protección de la privacidad que puedan integrarse en las CDNs sin comprometer el rendimiento.
- Adaptación a nuevas tecnologías es un desafío incesante en el mundo de las telecomunicaciones, las CDNs no se excluyen de esto, la rápida evolución de las tecnologías de red, como 5G y el borde de la red (edge computing), presenta nuevos desafíos y oportunidades para las CDNs. Sin embargo, faltan estudios que aborden la adaptación de las CDNs a estos nuevos entornos de manera integral. Se alienta a desarrollar arquitecturas de CDN que puedan aprovechar las capacidades de 5G y el borde de la red para ofrecer una experiencia de usuario mejorada, con menor latencia y mayor ancho de banda.
- En cuanto a la gestión de la complejidad de las CDN y su creciente interconectividad con múltiples proveedores, los diferentes formatos de contenido y dispositivos de usuario, plantea desafíos importantes en términos de gestión y coordinación teniendo un abanico de protocolos de red con una funcionalidad determinada. Como futuro enfoque se propone investigar modelos de gestión que permitan la coordinación eficiente de recursos en entornos de CDN heterogéneos, utilizando técnicas como la orquestación de servicios y la gestión basada en políticas como en [29].

Para la PI6 se proponen métricas que brindan una visión integral del rendimiento de las CDNs y permiten a los operadores evaluar la eficacia de las técnicas de gestión implementadas. Se disponen según la selección de los documentos para determinar el rendimiento y eficacia de la red 9 métricas: latencia, ancho de banda, pérdida de paquetes, calidad de experiencia (QoE), eficiencia energética, costo, tasa de aciertos de caché (cache hit ratio), disponibilidad y escalabilidad.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo ha realizado un análisis exhaustivo de las tendencias actuales en la gestión de redes de entrega de contenido (CDNs), destacando la evolución hacia sistemas autónomos e inteligentes. La mayoría de los artículos revisados proponen nuevos métodos y técnicas de gestión, con un énfasis particular en el almacenamiento en caché y la optimización de recursos, seguidos por modelos y marcos conceptuales. La creciente producción científica en este campo evidencia un auge en la investigación, caracterizado por la incorporación sistemática de inteligencia artificial en las áreas funcionales de gestión de CDN. Se confirma una clara tendencia hacia la adopción de enfoques de gestión autónoma, potenciados por técnicas de inteligencia artificial, que permiten la optimización adaptativa de recursos, la predicción precisa de la demanda y la mejora de la calidad de experiencia del usuario final. Estos avances son una

respuesta a la transformación de las infraestructuras CDN tradicionales en sistemas cada vez más sofisticados, que integran paradigmas modernos como la computación en nube, borde y niebla.

Sin embargo, el análisis también revela desafíos pendientes. Entre ellos, destaca la necesidad de actualizar los estándares existentes para reflejar las innovaciones tecnológicas recientes y fomentar la interoperabilidad en escenarios multi-CDN. Asimismo, la gestión del acceso y la seguridad, incluyendo la mitigación del uso indebido de mecanismos como tokens de cliente, se erigen como áreas críticas para garantizar la integridad y confiabilidad de los servicios. Como trabajo futuro, se propone explorar la integración de técnicas de aprendizaje federado para preservar la privacidad en la gestión de CDN, así como el diseño de marcos de evaluación estandarizados que permitan comparar de manera objetiva las soluciones emergentes. Finalmente, se sugiere profundizar en el impacto de las CDNs inteligentes en la reducción de la huella de carbono de las infraestructuras digitales, un aspecto crucial en la era de la sostenibilidad.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar nuestro más sincero agradecimiento a la profesora Dra. Ing. Caridad Emma Anías Calderón, cuyo liderazgo y guía experta en la asignatura de Gestión de Redes han sido fundamentales para la concepción y desarrollo de este artículo. Su profundo conocimiento del tema y su dedicación a apoyar a sus estudiantes han sido una fuente constante de inspiración y motivación a lo largo de este proceso.

REFERENCIAS

- [1] C. Canali, V. Cardellini, M. Colajanni, and R. Lancellotti, "Content delivery and management," in **Content Delivery Networks**, R. Buyya, M. Pathan, and A. Vakali, Eds. Berlin, Germany: Springer, 2008, pp. 105–126. doi: 10.1007/978-3-540-77887-5_4.
- [2] A. Vakali and G. Pallis, "Content delivery networks: Status and trends," **IEEE Internet Comput.**, vol. 7, no. 6, pp. 68–74, Nov. 2003, doi: 10.1109/MIC.2003.1250586.
- [3] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, "Systematic mapping studies in software engineering," in **Proc. 12th Int. Conf. Eval. Assess. Softw. Eng. (EASE)**, Bari, Italy, Jun. 2008, pp. 1–10. doi: 10.14236/ewic/EASE2008.8.
- [4] Y. Zhao et al., "IDEA: Intelligent diffusion model for edge cache system in content delivery network," in **Proc. 2024 7th Int. Conf. Algorithms, Comput. Artif. Intell. (ACAI)**, Sanya, China, Dec. 2024, pp. 1–5. doi: 10.1109/ACAI63924.2024.10899569.
- [5] Z. Li et al., "PIPM: Practical intelligent prefetch model for content delivery network," in **Proc. 2024 4th Int. Conf. Artif. Intell., Autom. Algorithms (AI2A)**, Bali, Indonesia, Dec. 2024, pp. 145–149. doi: 10.1145/3700523.3700550.
- [6] S. Gosai, "AI-powered content delivery and edge caching: Revolutionizing digital content distribution," **Int. J. Adv. Eng. Manag.**, vol. 7, pp. 196–202, Feb. 2025, doi: 10.35629/5252-0702196202.
- [7] M. Abbasi, M. Khosravi, and A. Ramazani, "Intelligent resource management at the network edge using content delivery networks," **Enterp. Inf. Syst.**, vol. 1, pp. 1–21, Feb. 2022, doi: 10.1080/17517575.2022.2037159.
- [8] E. Vathias, M. F. Doukas, P. Giannopoulos, and S. Hadjiefthymiades, "Proactivity in content delivery networks resource management: The stock options case," **ITU J. Future Evol. Technol.**, vol. 3, pp. 808–829, Dec. 2022, doi: 10.52953/GEEW8451.
- [9] E. Vathias, "Economics and resource management in content delivery networks," Master's thesis, Dep. Comput. Sci., Univ. Athens, Athens, Greece, 2022. doi: 10.13140/RG.2.2.20541.74724.
- [10] B. Larisa, G. Zoya, V. Elizaveta, y F. Adeola, «AI-Powered Multimedia Content Delivery in Next-Generation Networks», feb. 2025.
- [11] B. Wu, W. Bao, and B. Zhou, "Competitive analysis of online elastic caching of transient data in multi-tiered content delivery network," **IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.**, early access, Dec. 2024, doi: 10.1109/TPDS.2024.3475412.
- [12] S. Thomdapu, P. Katiyar, and K. Rajawat, "Dynamic cache management in content delivery networks," **Comput. Netw.**, vol. 187, Jan. 2021, Art. no. 107822, doi: 10.1016/j.comnet.2021.107822.
- [13] W. Ding et al., "Optimal cache management and routing for secure content delivery in information-centric networks with network coding," in **Proc. 2017 IEEE Int. Symp. Parallel Distrib. Process. Appl. Int. Conf.*

- Ubiquitous Comput. Commun. (ISPA/IUCC)*, Guangzhou, China, Dec. 2017, pp. 267–274. doi: 10.1109/ISPA/IUCC.2017.00046.
- [14] H. Yang, H. Pan, and L. Ma, "A review on software defined content delivery network: A novel combination of CDN and SDN," **IEEE Access**, vol. 11, pp. 43822–43843, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3267737.
- [15] L. Rodrigues, D. Menasché, A. Serra, and A. Rocha, "Minimally intrusive access management to content delivery networks based on performance models and access patterns," **arXiv:2410.05642**, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2410.05642>. [Accessed: Apr. 5, 2025].
- [16] A. Cholewa-Wójcik, D. Herold, and A. Kawecka, "Supply chain risk management in the content delivery network (CDN) industry," **Sci. Pap. Silesian Univ. Technol., Organ. Manag. Ser.**, no. 187, pp. 5–12, Oct. 2024, doi: 10.29119/1641-3466.2023.187.5.
- [17] J. Li et al., "STYX: A hierarchical key management system for elastic content delivery networks on public clouds," **IEEE J. Sel. Areas Commun.**, vol. 37, no. 9, pp. 2100–2113, Sep. 2019, doi: 10.1109/JSAC.2019.2933772.
- [18] Y. Reznik et al., "Content steering: A standard for multi-CDN streaming," **SMPTE Motion Imaging J.**, vol. 134, no. 1, pp. 12–19, Jan. 2025, doi: 10.5594/JMI.2025.2188.
- [19] Y. Reznik, "Multi-regional, multi-CDN delivery optimizations using HLS/DASH content steering standard," in **Proc. ACM Multimedia Conf. (MM)**, 2025, pp. 12–24. doi: 10.1145/3715675.3715791.
- [20] ATIS, "ATIS cloud services forum overview," ATIS, Tech. Rep., 2025. [Online]. Available: https://www.dmtf.org/sites/default/files/ATIS_Cloud_Services_Forum_Overview.pdf. [Accessed: Apr. 3, 2025].
- [21] B. Kitchenham and S. Charters, "Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering," Keele Univ., Keele, UK, Tech. Rep. EBSE-2007-01, Jan. 2007.
- [22] "Referencias," Google Drive, 2025. [Online]. Available: https://drive.google.com/drive/folders/19IdfQ3W8_fLpjmJfY-1TXlNBOWXpDrZ. [Accessed: Apr. 6, 2025].
- [23] J. Paul, O. Alli, y J. Adegbola, "AI-powered route optimization reducing costs and improving delivery efficiency", mar. 2025.
- [24] A. Ghasemi and A. Ahmadi, "Cache management in content delivery networks using the metadata of online social networks," **Comput. Commun.**, vol. 189, pp. 45–58, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.comcom.2022.02.021.
- [25] O. Yevsyeyeva, M. Khader, and K. Holota, "Complex hierarchical method for resource management in hybrid content delivery networks," in **Proc. 2014 First Int. Sci.-Pract. Conf. Probl. Infocommun. Sci. Technol.**, Kharkiv, Ukraine, Oct. 2014, pp. 3–6. doi: 10.1109/INFOCOMMST.2014.6992278.
- [26] P. Goudarzi, A. Ghassemi, M. R. Mirsarraf, and R. Buyya, "Joint energy-QoE efficient content delivery networks using real-time energy management," **IEEE Syst. J.**, vol. 14, no. 1, pp. 927–938, Mar. 2020, doi: 10.1109/JSYST.2019.2924186.
- [27] C. Ge, N. Wang, and Z. Sun, "Energy-aware data center management in cross-domain content delivery networks," in **Proc. 2013 IEEE Online Conf. Green Commun. (OnlineGreenComm)**, Oct. 2013, pp. 88–95. doi: 10.1109/OnlineGreenCom.2013.6731034.
- [28] J. Ding and N. Li, "A distributed adaptation management framework in content delivery networks," in **Proc. 2011 7th Int. Conf. Wireless Commun., Netw. Mobile Comput.**, Wuhan, China, Sep. 2011, pp. 1–4. doi: 10.1109/WiCOM.2011.6040622.
- [29] T. Soenen et al., "Service specific management and orchestration for a content delivery network," in **Proc. 2018 4th IEEE Conf. Netw. Softwarization Workshops (NetSoft)**, Montreal, QC, Canada, Jun. 2018, pp. 326–328. doi: 10.1109/NETSOFT.2018.8459994.

SOBRE LOS AUTORES

Ing. Yan Carlos Sainz Martínez, Ingeniero graduado de Telecomunicaciones y Electrónica, actualmente trabaja en la Empresa de las Tecnologías de la Información de BioCubaFarma, La Habana, yancarlos.sainz@eti.biocubafarma.cu. Código ORCID 0009-0001-7492-0614

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Autor 1: 100% concepción, preparación, creación, desarrollo y organización del artículo, revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons AttributionNonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

