



REVISTA MULTIDISCIPLINAR EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS

Volumen 2, Número 3
Julio-Septiembre 2025

Edición Trimestral

CROSSREF PREFIX DOI: 10.71112

ISSN: 3061-7812, www.omniscens.com

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 2, Número 3
julio-septiembre 2025

Publicación trimestral
Hecho en México

La Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias acepta publicaciones de cualquier área del conocimiento, promoviendo una plataforma inclusiva para la discusión y análisis de los fundamentos epistemológicos en diversas disciplinas. La revista invita a investigadores y profesionales de campos como las ciencias naturales, sociales, humanísticas, tecnológicas y de la salud, entre otros, a contribuir con artículos originales, revisiones, estudios de caso y ensayos teóricos. Con su enfoque multidisciplinario, busca fomentar el diálogo y la reflexión sobre las metodologías, teorías y prácticas que sustentan el avance del conocimiento científico en todas las áreas.

Contacto principal: admin@omniscens.com

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación

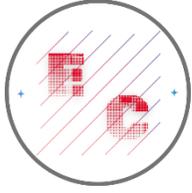
Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de la publicación sin previa autorización de la Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.



9773061781003

Cintillo legal

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias Vol. 2, Núm. 3, julio-septiembre 2025, es una publicación trimestral editada por el Dr. Moises Ake Uc, C. 51 #221 x 16B , Las Brisas, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97144 , Tel. 9993556027, Web: <https://www.omniscens.com>, admin@omniscens.com, Editor responsable: Dr. Moises Ake Uc. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-121717181700-102, ISSN: 3061-7812, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Dr. Moises Ake Uc, fecha de última modificación, 1 julio 2025.



Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 2, Número 3, 2025, julio-septiembre

DOI: <https://doi.org/10.71112/g5dr6m65>

**PROTOCOLO IPV6 COMO SOLUCIÓN ESTRATÉGICA EN LA ADMINISTRACIÓN
DE REDES**

IPV6 PROTOCOL AS A STRATEGIC SOLUTION FOR NETWORK MANAGEMENT

Valentino Raffaele Crocetta Yanuario

Venezuela

Protocolo IPv6 como solución estratégica en la administración de redes

IPv6 protocol as a strategic solution for network management

Valentino Raffaele Crocetta Yanuario

[revalca_32@hotmail](mailto:revalca_32@hotmail.com)

<https://orcid.org/0009-0003-3588-2138>

Universidad Nacional Experimental del Táchira UNET

Venezuela

RESUMEN

El presente artículo analiza el Protocolo Internet versión 6 (IPv6), como solución estratégica en la administración de redes, mediante revisión de fuentes temáticas. Se contextualiza el agotamiento de IPv4 y la necesidad de transición a IPv6, describiendo las características técnicas claves de IPv6 y comparándolas con IPv4, según rendimiento y gestión. Se examinan las ventajas estratégicas que IPv6 ofrece para la administración de redes modernas, incluyendo la simplificación de arquitecturas (NAT), la escalabilidad para la era del Internet de las Cosas (IoT) y la eficiencia operativa. Además, se abordan los desafíos asociados a la implementación y transición hacia IPv6, como las dificultades técnicas, de capacitación y de compatibilidad con infraestructuras legadas. La metodología seguida es documental-bibliográfica, enfatizando la búsqueda en fuentes científicas y técnicas actualizadas. Los hallazgos presentan datos recientes de adopción global de IPv6, con énfasis en entornos educativos evidenciando patrones de crecimiento desiguales dentro de los procesos educativos.

Palabras clave: IPv6; solución estratégica; administración de redes; transición; simplificación de arquitecturas

ABSTRACT

This article analyzes Internet Protocol version 6 (IPv6) as a strategic solution for network management through a review of thematic sources. It contextualizes the exhaustion of IPv4 and the need for transition to IPv6, describing the key technical characteristics of IPv6 and comparing them with IPv4 in terms of performance and management. The strategic advantages that IPv6 offers for modern network management are examined, including architectural simplification (NAT), scalability for the Internet of Things (IoT) era, and operational efficiency. Furthermore, the challenges associated with the implementation and transition to IPv6 are addressed, such as technical difficulties, training, and compatibility with legacy infrastructures. The methodology followed is documentary and bibliographic, emphasizing the search in updated scientific and technical sources. The findings present recent data on global IPv6 adoption, with an emphasis on educational environments, evidencing uneven growth patterns within educational processes.

Keywords: IPv6; strategic solutions; network management; transition; architecture simplification.

Recibido: 16 de junio 2025 | Aceptado: 1 de julio 2025

INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial de dispositivos conectados a Internet y servicios en línea ha ejercido una enorme presión sobre la infraestructura de direcciones de protocolos de internet (IP) utilizada desde los inicios de la red. El protocolo IPv4, con un espacio de $4,3 \times 10^9$ direcciones, resultó insuficiente para el mundo interconectado actual, que contaba ya con 14,3 mil millones de dispositivos en 2022.

Tal como lo destaca el Number Resource Organization (2011) “La consecuencia directa fue el agotamiento de las direcciones IPv4 disponibles a nivel mundial, un hito alcanzado alrededor de 2011-2012 en los registros regionales”. A tal efecto, Deering y Hinden (2017) afirman que

Ante esta limitación, la comunidad de Internet desarrolló IPv6 como el sucesor de IPv4, diseñado específicamente para superar las limitaciones de espacio de direcciones y agregar mejoras funcionales. IPv6 provee un espacio prácticamente ilimitado ($\approx 3.4 \times 10^{38}$ direcciones), junto con capacidades como autoconfiguración de direcciones, conectividad de extremo a extremo sin necesidad de NAT y seguridad integrada con IPsec, entre otras.

No obstante, pese a las ventajas técnicas evidentes, Google. Adoption Statistics (2024) resaltan que: la adopción de IPv6 ha sido gradual y desigual en las últimas dos décadas. Muchas organizaciones y administradores de redes se enfrentan a la pregunta de investigación que orienta este artículo: ¿En qué medida IPv6 constituye una solución estratégica en la administración de redes, y cuáles son los beneficios y desafíos asociados a su adopción? Resolver esta cuestión implica analizar comparativamente IPv6 e IPv4, no solo en capacidades técnicas sino también en impacto operativo y estratégico.

En consecuencia, los objetivos del presente trabajo son: (1) describir las características técnicas de IPv6 relevantes para la gestión de redes; (2) comparar IPv6 con IPv4 en

rendimiento y administración; (3) identificar las ventajas estratégicas de implementar IPv6 en distintos entornos organizacionales; (4) examinar los desafíos y obstáculos en la transición; y (5) documentar casos actuales de adopción en sectores educativos a nivel global, para extraer lecciones aplicables.

En cuanto a la estructura del artículo, tras esta introducción se profundiza en el desarrollo teórico, cubriendo en secciones separadas los temas mencionados: características técnicas de IPv6, comparativa con IPv4, ventajas estratégicas, desafíos de implementación y casos de uso. Posteriormente, se detalla la metodología de investigación enmarcada en un estudio de carácter documental-bibliográfico.

Partiendo de esta realidad se presentan los hallazgos obtenidos, organizados por categorías de datos relevantes tales como la adopción global, el rendimiento entre otros). Luego se discuten los resultados, analizando patrones y brechas, así como la contribución de IPv6 al avance del conocimiento en redes. Finalmente, se exponen las conclusiones, resaltando los aportes del estudio, sus limitaciones y posibles líneas futuras de investigación, particularmente considerando la evolución hacia redes completamente IPv6 y la integración con tendencias emergentes.

para entrar en contexto, vale considerar lo que expresan Deering & Hinden (2017) quienes resaltan que: "IPv6 fue concebido para resolver de raíz las carencias de IPv4 incorporando una serie de características técnicas que mejoran la administración y operación de redes. La más notable es su espacio de direcciones de 128 bits, que permite asignar un identificador único a prácticamente cada dispositivo concebible en el planeta y por muchos años por venir. En términos cuantitativos, IPv6 ofrece $\approx 3,4 \times 10^{38}$ direcciones, eliminando la preocupación por la escasez de direcciones que se vive en IPv4. Esta abundancia implica que incluso un usuario residencial puede recibir un bloque grande, facilitando una granularidad de asignación impensable en IPv4.

Otra característica clave es la autoconfiguración de direcciones sin estado (SLAAC), tal como lo señalan Thomson & Narten (2007) por la cual los dispositivos IPv6 pueden autogenerar su propia dirección IP al unirse a una red, utilizando información anunciada por los routers, sin requerir necesariamente un servidor DHCP central. Esta capacidad de plug and play simplifica enormemente la configuración de redes, reduciendo la intervención manual del administrador.

En el ámbito de la seguridad, si bien IPv6 en sí mismo no cifra el tráfico por defecto, señalando lo que dice Deering & Hinden, (2017) cuando destacan que el protocolo exige la implementación de IPsec (Authentication Header y ESP), como parte de la pila, asegurando que toda estación IPv6 soporte comunicaciones autenticadas y/o cifradas a nivel de red. La disponibilidad universal de IPsec en IPv6 posibilita desplegar arquitecturas de seguridad de extremo a extremo con mayor facilidad (comunicaciones cifradas host a host sin romperse por NAT). Adicionalmente, al eliminar la dependencia en NAT, IPv6 permite utilizar IPsec end-to-end, lo que puede incrementar la seguridad general de la red al evitar puntos de traducción susceptibles a errores o configuraciones débiles.

Comparativa IPv4 vs IPv6 en rendimiento y administración

La coexistencia prolongada de IPv4 e IPv6 en las redes actuales permite realizar comparaciones empíricas sobre su rendimiento y las implicaciones en la administración de redes. En términos de rendimiento puro, la suposición inicial podría ser que IPv6, al tener encabezados más largos (128 bits de dirección frente a 32 bits), incurre en más overhead por paquete y mayor carga de procesamiento.

Efectivamente, Deering & Hinden (ob. cit) acotan que “un encabezado IPv6 típico (40 bytes) es 20 bytes más grande que el de IPv4, lo que aumenta ligeramente el volumen de datos de control en la transmisión”. Asimismo, “manejar direcciones de 128 bits puede requerir más ciclos de CPU para su procesamiento”. Sin embargo, de acuerdo con CherryServers (2023)

estos factores teóricos han resultado tener poco impacto en la práctica, especialmente en la medida que las capacidades de cómputo y ancho de banda han crecido exponencialmente. De hecho, múltiples estudios y mediciones en la última década muestran que IPv6 supera a IPv4 en desempeño real.

Diversas pruebas comparativas han revelado ventajas de IPv6 en ciertos escenarios., Según Colitti (2015) Facebook reportó en 2015 que sus sitios web cargaban un 10–15% más rápido sobre IPv6 que sobre IPv4. Un caso de estudio de la plataforma de streaming AbemaTV, tal como lo señala Mizutani et al., (2019), encontró que IPv6 ofreció una mejora de 38% en el throughput promedio respecto a IPv4. Incluso Apple indicó (2020), que los tiempos de establecimiento de conexión medianos eran 1,4 veces más rápidos con IPv6 en comparación con IPv4.

Las razones de las mejoras de rendimiento de IPv6 suelen relacionarse con la arquitectura de las redes actuales. Muchas implementaciones de IPv4 dependen de NAT (traducción de direcciones), especialmente a nivel de Carrier-Grade NAT en proveedores, lo cual introduce latencia y posibles puntos de congestión. En entornos móviles modernos y grandes ISPs, se ha adoptado una filosofía “IPv6-centric”: la mayor parte del tráfico de usuario viaja sobre IPv6 nativo, mientras que el tráfico IPv4 (legado) se encauza a través de mecanismos de traducción como NAT64/464XLAT en gateways centralizados.

Esto implica que las conexiones IPv6 tal como lo señala Brzozowski (2018) suelen tomar un camino más corto (directamente hacia Internet) y con menos procesamiento intermedio, mientras que las conexiones IPv4 pueden enfrentarse a saturación o retardo adicional al pasar por CGNAT. De hecho, algunos operadores móviles reportan que más del 90% de sus abonados funcionan en modo IPv6-only (usando IPv4 como servicio encapsulado cuando es necesario).

En tales entornos, se ha observado que IPv6 tiende a mostrar menor latencia y menos pérdida de paquetes en comparación con IPv4, dado que este último compite por recursos finitos en traductores y agrega saltos extras. Un efecto colateral interesante es que, a medida que los proveedores reducen inversión en infraestructura IPv4 (no ampliando más sus pools de NAT), el rendimiento de IPv4 podría degradarse en eventos de alta demanda, mientras IPv6 mantiene su desempeño.

Desde la perspectiva de la administración de redes, IPv6 aporta simplificaciones significativas frente a IPv4. Un área crítica es la gestión de direcciones y subredes. En IPv4, los administradores deben lidiar con espacio escaso, asignaciones fragmentadas y con frecuencia recurrir a direcciones privadas y NAT para dar abasto. Esto añade complejidad en configuraciones, impedimentos a la conectividad extremo a extremo y retos en el rastreo de incidencias.

En contraste, IPv6 prácticamente elimina la necesidad de NAT gracias a su amplio espacio de direcciones, devolviendo la pureza del modelo extremo a extremo. Cada dispositivo puede tener una dirección global única, lo que simplifica el diseño y la topología de las redes: ya no se requiere arquitecturas jerarquizadas de NAT, ni se presentan conflictos de direcciones privadas redundantes entre sitios.

Además, la administración de planes de direccionamiento IPv6, aunque inicialmente desafiante por su novedad, resulta más flexible asignar bloques consistentes a sucursales, departamentos, servicios, con prefijos más largos que permiten agregación efectiva en tablas de enrutamiento. Esto reduce el tamaño de las tablas globales y locales, mejorando la eficiencia de enrutamiento y facilitando la escalabilidad de la red.

Otro punto de comparación es la remuneración de redes. En entornos IPv4, cambiar el prefijo de red (al cambiar de proveedor ISP o al reorganizar la topología) es un proceso laborioso que puede implicar reconfigurar manualmente numerosos hosts, especialmente

aquellos con IP estática (impresoras, servidores, entre otras). IPv6 fue diseñado para mitigar este problema: gracias a SLAAC y DHCPv6, es posible reenumerar una red introduciendo un nuevo prefijo global en los anuncios de router, con lo cual los hosts automáticamente configuran nuevas direcciones sin discontinuidad en conectividad.

En teoría, esto hace que la remuneración sea mucho más fácil y manejable. Si bien, tal como lo señala Brzozowski, (ob. cit) en la práctica persisten algunos desafíos (servicios legados que almacenan direcciones IP estáticas, o caches DNS reverso que deben actualizarse), la capacidad inherente de IPv6 para soportar múltiples prefijos simultáneamente en una interfaz y retirar uno obsoleto tras un período, brinda una continuidad y agilidad que IPv4 no ofrece.

En cuanto a la monitorización y solución de problemas, IPv6 extiende protocolos conocidos (ping, traceroute, SNMP) a su nuevo esquema, generalmente de forma transparente. Una diferencia es que la abundancia de direcciones puede complicar ciertas prácticas (como escaneo de red); no obstante, también surgen nuevas herramientas y enfoques para la gestión (el uso de multicast para descubrimiento de servicios en IPv6). Los administradores necesitan acostumbrarse a representaciones hexadecimales de direcciones, pero con el tiempo esto se integra en las rutinas operativas.

Ventajas estratégicas de IPv6 en la administración de redes

La decisión de adoptar IPv6 en una organización no solo es técnica, sino estratégica, pues impacta la capacidad de la red para soportar la evolución del negocio y de la tecnología a largo plazo. Entre las ventajas estratégicas más destacadas que IPv6 ofrece para la administración de redes se encuentran:

- Escalabilidad y futuro garantizado: La abundancia de direcciones IPv6 asegura que las redes puedan crecer sin restricciones artificiales. Esto es crucial en la era del Internet de las Cosas (IoT), donde miles de millones de sensores, dispositivos domésticos,

vehículos y otros aparatos requieren conectividad. IPv6 permite asignar direcciones globales únicas a cada dispositivo IoT, eliminando la necesidad de soluciones complicadas de overlaps de direcciones o múltiples capas de NAT para conectar miles de nodos.

- Simplificación de la arquitectura de red: La eliminación de la necesidad de NAT es una ganancia táctica y estratégica. NAT fue una solución al problema de escasez de IPv4, pero introdujo complejidad en la red: dificulta la trazabilidad de endpoints, complica la comunicación directa (muchas aplicaciones P2P, VoIP o juegos en línea tuvieron que diseñar mecanismos especiales para hole punching en NAT), y añade carga a los dispositivos de borde. El European Telecommunications Standards Institute (ETSI) (2014), señala que la Network Functions Virtualisation – Security, (2014), recalca que NAT no es un mecanismo de seguridad per se.
- Eficiencia operativa y ahorro de costos: Aunque migrar a IPv6 conlleva inversiones iniciales, a mediano y largo plazo puede traducirse en reducción de costos operativos. Por un lado, se evitan los gastos crecientes asociados a IPv4: hoy en día las direcciones IPv4 se comercian a precios elevados debido a su escasez, lo que significa que adquirir bloques adicionales de IPv4 puede ser prohibitivo para un ISP emergente o una empresa en expansión. IPv6, en contraste, está disponible prácticamente gratis a través de los registros de Internet (RIRs) en bloques enormes.
- Mejor desempeño y experiencia de usuario: Como se discutió en la sección comparativa, IPv6 puede ofrecer rutas más eficientes, menor latencia y mayor throughput en ciertos contextos, lo cual redundaría en una mejor experiencia para el usuario final. Estratégicamente, esto es vital para proveedores de contenidos o servicios en línea: por ejemplo, una empresa de streaming de video puede servir a sus clientes con menos buffering o mayor calidad si emplea IPv6 donde sea posible, dado que

algunos estudios muestran latencias ligeramente inferiores y menos pérdida en IPv6 (por evitar saturación en NAT).

- Soporte a tecnologías emergentes y tendencias (5G, SDN, cloud): La infraestructura de red está viviendo transformaciones hacia la virtualización y la definición por software (SDN/NFV), así como el despliegue masivo de 5G. IPv6 se integra naturalmente con estas tendencias. En 5G, muchas implementaciones utilizan directamente IPv6 para asignar identificadores únicos a cada dispositivo y aprovechar características como segment routing sobre IPv6 (SRv6) para programar rutas inteligentes en la red móvil. En centros de datos y nubes, se observa un movimiento hacia entornos IPv6-only internos – las instancias de servidor pueden operar solo con IPv6, simplificando la administración de direcciones y evitando límites de RFC1918 o colisiones en redes híbridas.

Desafíos en la implementación y transición

A pesar de los beneficios, la transición hacia IPv6 conlleva una serie de desafíos técnicos y organizativos que explican en parte la lentitud de su adopción global. Réseaux IP Européens Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2023), plantea que reconocer y abordar estos desafíos es parte crucial de la estrategia de administración de redes al migrar a IPv6. Uno de los principales retos es la compatibilidad con infraestructura y aplicaciones legadas. Muchas redes corporativas acumulaban décadas de inversiones en hardware (routers, firewalls, sistemas de monitoreo) y software que inicialmente no contemplaban IPv6. Si bien la mayoría de los equipos modernos soportan IPv6, aún existen dispositivos antiguos o firmware desactualizado sin soporte adecuado.

La actualización o reemplazo de estos componentes supone costos iniciales de infraestructura (CAPEX) que pueden ser significativos. Igualmente, aplicaciones internas desarrolladas con suposiciones de IPv4 (almacenando direcciones en campos de 32 bits, o con IPs literales incrustadas en el código) pueden fallar en entornos IPv6. Un caso documentado en

la Universidad de Campinas fue la necesidad de corregir sistemas legados con direcciones IPv4 fijas en su configuración, así como expandir campos de base de datos para acomodar direcciones IPv6 más largas. Este proceso de refactorización y pruebas requiere tiempo y conocimiento específico, a veces escaso en las organizaciones.

Asociado a lo anterior está el factor humano y de conocimiento. La gestión exitosa de IPv6 demanda que el personal de redes domine nuevos conceptos (formatos hexadecimales, prefijos, NDP, etc.) y esté consciente de diferencias sutiles respecto a IPv4. Muchas organizaciones identifican una “falta de capacitación” como obstáculo: capacitar al equipo técnico en IPv6 implica invertir en entrenamientos formales o aprendizaje interno, lo que inicialmente puede ralentizar la implementación.

Desde la perspectiva de gestión de proyectos, puede haber resistencia organizativa o falta de prioridad. Dado que las redes IPv4 existentes “siguen funcionando” (aunque sea con parches como NAT), algunas empresas adoptan una postura de último momento para IPv6. Este fenómeno del último en mover se ha discutido: como los beneficios plenos de IPv6 se logran cuando muchos lo adoptan, algunos esperan que otros inviertan primero. Sin embargo, esta actitud prolonga la situación subóptima colectiva. Convencer a la dirección de la empresa de asignar presupuesto y tiempo a IPv6 suele requerir presentar un caso de negocio claro, ventajas competitivas y alineación con la estrategia tecnológica (IoT, cloud, etc.).

Casos de uso actuales de adopción en entornos educativos

Para ilustrar el estado del arte de IPv6 y sus implicaciones estratégicas, es valioso examinar casos actuales de adopción en entorno educativo (universidades, redes de investigación). Estos ejemplos muestran cómo diferentes organizaciones abordan la transición y qué beneficios han obtenido.

En el entorno educativo y de investigación, las universidades y redes académicas han sido tradicionalmente los primeros usuarios de IPv6, motivadas por la necesidad de conectar

comunidades académicas globales y experimentación tecnológica. Ya en los años 2003–2005, iniciativas como Internet2 en Estados Unidos y la red GEANT en Europa incorporaron IPv6 para interconectar universidades y centros de investigación a alta velocidad con nuevas aplicaciones. Un caso de estudio reciente proviene de la Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP) en Brasil, que emprendió la migración a IPv6 para sus 60 mil usuarios diarios conectados en campus.

Con decenas de miles de dispositivos (personales e institucionales) en su red, IPv4 ya no era suficiente para dar dirección a todos, obstaculizando crecimiento e iniciativas de Smart Campus. Implementar IPv6 fue calificado como lo expresa Godoy (2022), “una cuestión de supervivencia en un mundo conectado” por los gestores de UNICAMP. En este año se logró ~35% de tráfico IPv6 en campus, consolidándolo posteriormente, y descubrieron beneficios como la posibilidad de explorar servicios innovadores (por ejemplo, telefonía VoIP IPv6-only que simplificó la gestión de extensiones telefónicas sobre la red de datos) y mejorar la calidad de acceso remoto de estudiantes/profesores (quienes al conectarse vía IPv6 desde sus casas podían acceder a recursos universitarios con menos latencia).

Otro aprendizaje del caso UNICAMP fue la importancia de los proveedores de Internet locales: los esfuerzos de la universidad rindieron frutos una vez que los ISPs brasileños incrementaron la disponibilidad de IPv6 a sus suscriptores, permitiendo que la comunidad acceda nativamente. Tal como lo señala Naagas, y Guzmán (2020) en Asia, universidades en India y Filipinas han publicado casos de transición exitosos de sus campus a dual-stack, sirviendo de plantilla para otras instituciones (incluyendo guías de mejores prácticas). En España, la RedIRIS (red nacional académica) soporta IPv6 hace más de una década y ha ayudado a que muchas universidades habiliten IPv6 en servicios críticos (bibliotecas digitales, repositorios, etc.).

Un proyecto singular en el entorno educativo fue el de FedNet IPv6 en los Estados Unidos, donde colegios comunitarios y escuelas públicas colaboraron para desplegar IPv6 experimentalmente en entornos controlados, con fines pedagógicos. Esto no solo formó a la siguiente generación de ingenieros en IPv6, sino que detectó problemas en software educativos y filtros de contenido que solo funcionaban con IPv4, permitiendo actualizarlos.

METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó bajo una metodología documental-bibliográfica, mediante la cual se recolectó, evaluó y sintetizó información de fuentes secundarias relevantes sobre IPv6. A continuación, se describen los pasos seguidos, incluyendo bases de datos consultadas, palabras clave empleadas y criterios de inclusión de las fuentes:

Búsqueda de literatura: Se iniciaron las búsquedas en bases de datos académicas reconocidas como IEEE Xplore, ACM Digital Library, SpringerLink y ScienceDirect, enfocándose en artículos científicos y conferencias sobre IPv6 publicados en los últimos ~5 años (2020–2025). Paralelamente, se consultaron repositorios abiertos como Google Scholar para ampliar la cobertura, así como recursos específicos de la temática: portal de la Internet Engineering Task Force (IETF) (2017), Request for Comments (RFCs), considerados relevantes (especialmente RFC 8200 que norma IPv6), e informes técnicos de organizaciones como RIPE NCC, APNIC, LACNIC e Internet Society.

Se dio prioridad a fuentes actualizadas, confiables y pertinentes. Para el estado actual de adopción, se incluyeron reportes de 2023-2024 de entes reconocidos (Internet Society, APNIC, Cloudflare Radar) que proveen datos estadísticos globales. En cuanto a ventajas y desafíos, se incluyeron análisis técnicos detallados (tutoriales de IPv6, libros de texto recientes) y publicaciones arbitradas que abordaran desempeño o seguridad. Se excluyeron fuentes muy desactualizadas (anteriores ~2010) salvo por valor histórico, y se evitó contenido de opinión no

fundamentada. Cada fuente seleccionada fue evaluada en cuanto a su origen (se prefirieron autores con credenciales o instituciones de peso en el tema). Asimismo, se incorporaron casos de estudio documentados en blogs técnicos oficiales y revistas especializadas, siempre y cuando aportaran datos empíricos o testimonios concretos de despliegue IPv6.

Se realizó lectura crítica extrayendo las ideas principales y datos cuantitativos relevantes. Se procuró identificar convergencias. Las notas fueron organizadas siguiendo el esquema propuesto en este artículo (características técnicas, comparativa, ventajas, desafíos, casos, entre otros), garantizando el encadenamiento lógico de los argumentos. Cabe resaltar que, si bien se consultaron numerosas fuentes en inglés, la redacción del artículo se hizo en español, traduciendo o contextualizando los hallazgos pertinentes y conservando las citas bibliográficas para la referencia del lector. La siguiente sección presenta los resultados categorizados derivados de este proceso investigativo.

RESULTADOS

A partir de la investigación documental realizada, se obtuvieron hallazgos significativos sobre el estado y los efectos de la adopción de IPv6, los cuales se agrupan en las siguientes categorías: (1) Datos globales de adopción y uso de IPv6, (2) Impactos en rendimiento y operación de redes, (3) Beneficios estratégicos observados, y (4) Desafíos comunes identificados en despliegues reales.

(1) Adopción global de IPv6: La adopción de IPv6 ha mostrado un aumento constante a nivel mundial, aunque con disparidades regionales marcadas. Para fines de 2023, aproximadamente 39–43% del tráfico de Internet (medido por grandes proveedores como Google (ob. Cit) y Akamai (2022), se cursaba sobre IPv6. Esto representa un salto notable desde menos del 25% en 2019. En 2024, la tendencia continúa al alza, proyectándose alcanzar la marca del 50% global en torno a 2025.

Por regiones, Scientific Reports (2025) reportan que Asia alcanzó ~42.3% de despliegue IPv6 a fines de 2023, superando a América (~41.8%) que siempre llevaba ventaja. Europa y Oceanía rondaban 31% y 37% respectivamente, mientras África permanecía rezagada cerca del 2%. A nivel de países individuales, los top 5 en 2024 (por porcentaje de tráfico IPv6) fueron: India (~68.9%), Malasia (~59.6%), Arabia Saudita (~51.8%), seguidos muy de cerca por Uruguay (~49.6%) y Grecia (~49.0%). Estas cifras contrastan con más de 30 países con adopción inferior a 1%. Otro hallazgo es que en varias economías grandes (E.E.U.U., Alemania, Brasil, Francia), la adopción oscila entre 40–50%, impulsada principalmente por grandes ISPs y redes móviles, mientras que sectores empresariales van más lentos.

(2) Rendimiento y gestión operativa: Numerosos estudios y mediciones revelan que IPv6 funciona tan bien o mejor que IPv4 en redes actuales. Se han documentado mejoras de 10–15% en tiempos de carga de sitios web y hasta 40% en throughput para streaming sobre IPv6 comparado con IPv4 en condiciones óptimas. Las razones identificadas incluyen la ausencia de NAT (que reduce latencia y pérdida en redes congestionadas) y rutas más directas en ciertos operadores. También se halló que los tiempos de conexión TLS pueden ser menores con IPv6, como reportó Apple (conexiones 1.4 veces más rápidas), atribuido a optimizaciones en redes IPv6 de última generación. En cuanto a gestión, los hallazgos confirman que IPv6 simplifica varias tareas administrativas: la autoconfiguración SLAAC agiliza la incorporación de hosts sin intervención manual, y capacidades como la de múltiples direcciones por interfaz permiten transiciones fluidas durante remuneraciones.

Un hallazgo interesante es que la coexistencia dual-stack aumenta complejidad temporal, muchas empresas notaron un incremento en la carga de trabajo al operar doble esquema de direcciones durante la migración. Sin embargo, la administración resultante en IPv6-only fue más sencilla y automatizable. Se registró que el monitoreo de redes dual-stack

requiere actualizar herramientas: se enfatiza la necesidad de optimizar configuraciones (por ejemplo, asegurarse de tener suficientes vecinos IPv6 en BGP para no desviar tráfico por IPv4 innecesariamente).

(3) Beneficios estratégicos observados: De los casos analizados, emergen beneficios concretos atribuidos a la adopción de IPv6. Un beneficio recurrente fue la capacidad de expansión: organizaciones que se estaban quedando sin espacio IPv4 (por ejemplo, universidades con miles de dispositivos), lograron seguir creciendo en su red al habilitar IPv6, evitando inversiones en complejos sistemas NAT o adquisición de IPs a terceros. Otro beneficio observado es la mejora en la experiencia de usuario en servicios en línea. Akamai (2022) reportó que varios clientes suyos obtuvieron performance gains al habilitar contenido vía IPv6, especialmente en mercados móviles donde los usuarios con IPv6 experimentaron menos congestión que sus pares IPv4.

(4) También se notó que empresas que adoptaron IPv6 mejoraron su postura competitiva y de innovación: por ejemplo, un proveedor de hosting que ofrecía servicios IPv6-only con traducción IPv4 opcional pudo diferenciarse con precios más bajos en IPv6, atrayendo clientes conscientes de costos. En el sector público, un beneficio estratégico es la sostenibilidad a futuro de los servicios digitales: gobiernos que migraron portales y sistemas a dual-stack aseguran que podrán atender a ciudadanos en redes IPv6 sin depender de soluciones legadas.

(5) Desafíos comunes en despliegues: A pesar de los éxitos, casi todos los casos estudiados describieron desafíos. El más mencionado fue la falta de soporte o bugs en equipamiento. Ejemplos: cierta marca de impresoras de red no soportaba IPv6, sistemas de videoconferencia inicialmente tenían problemas manejando multicast IPv6. Esto requirió actualizaciones de firmware masivas o reemplazo de equipos.

(6) Otro desafío citado fue la capacitación del personal técnico: en empresas medianas, pocos ingenieros dominaban IPv6, lo que ralentizó la implementación hasta que se impartieron cursos o se contrató consultoría externa. Varias organizaciones admitieron incurrir en configuraciones incorrectas al inicio (p. ej., olvidaron habilitar filtros RA Guard en switches, permitiendo anuncios de router falsos en LAN). Estos errores fueron subsanados con aprendizaje, pero reflejan la necesidad de buenas prácticas y guías. En entornos corporativos, un desafío fue convencer a la dirección: sin una urgencia inmediata visible, algunos directivos cuestionaron el ROI de la migración.

(7) Otro obstáculo común es la integración con aplicaciones legadas: se descubrió que algunos softwares internos no funcionaban sobre IPv6, lo cual requirió parches de los proveedores o migración a nuevas versiones. Finalmente, un desafío externo identificado es la cobertura incompleta de IPv6 en algunos servicios terceros: ciertas empresas migraron su red interna, pero aún dependían de APIs o feeds de datos de terceros que solo estaban en IPv4, forzando a mantener dual-stack. Esto evidencia que la transición completa depende de un ecosistema más amplio.

(8) En conjunto, estos hallazgos pintan una imagen donde IPv6 está ganando terreno firmemente, aportando valor tangible a quienes lo adoptan, pero requiriendo diligencia en su implementación. Los datos recopilados fundamentan el análisis crítico que se presenta en la sección de Discusión, donde se interpretan patrones, se contrastan con la pregunta de investigación y se explora cómo estos hallazgos amplían el conocimiento en administración de redes.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten discutir varios aspectos clave sobre IPv6 como solución estratégica, conectando los hallazgos con la pregunta de investigación y el estado

general del campo. En esta discusión se abordan: la dualidad de progreso y rezago en la adopción, la validación de ventajas teóricas en la práctica, las brechas identificadas (tecnológicas y geográficas) y las implicaciones para la gestión de redes y la comunidad investigadora.

Un primer punto de análisis es la evidente brecha en la adopción global de IPv6. Los hallazgos muestran un fuerte avance en ciertas regiones y países líderes (ej. India cerca del 70%, extensas redes móviles IPv6-only), mientras que decenas de países permanecen con adopción mínima. Este patrón, según Huston (2024), sugiere que la adopción de IPv6 exhibe características de una innovación con efecto de red: los beneficios se multiplican cuando muchos la adoptan, pero existen “islas” rezagadas donde quizá falta masa crítica o incentivos inmediatos.

Así, emerge una brecha de adopción que puede ser tecnológica pero también económica: países en vías de desarrollo quizá priorizan otras inversiones TIC sobre IPv6, a menos que reciban apoyo o mandato. Este hallazgo invita a reflexionar sobre cómo la comunidad internacional (RIRs, foros de Internet) puede facilitar la transferencia de conocimiento y motivaciones a los rezagados, evitando que se queden atrás en la futura Internet IPv6-dominante.

La discusión de los beneficios estratégicos vs desafíos revela un elemento crucial: muchas de las ventajas teóricas de IPv6 se confirman en entornos que logran implementarlo adecuadamente. La escalabilidad y simplificación, largamente predichas por los diseñadores de IPv6, se ven en casos reales (como UNICAMP pudiendo conectar decenas de miles de dispositivos gracias a IPv6). Asimismo, mejoras de rendimiento reportadas confirman que el temor a un IPv6 más lento es un mito cuando la infraestructura está optimizada. Esto refuta una de las concepciones erróneas mencionadas en la literatura (“IPv6 es inherentemente más lento” era una excusa para demorar la adopción).

En contraste, los desafíos encontrados reflejan que los problemas no residen en IPv6 per se, sino en el ecosistema circundante: falta de soporte en un equipo, personal no entrenado, aplicaciones rígidas. Es decir, los obstáculos son solucionables, no defectos intrínsecos del protocolo. Por tanto, desde una perspectiva estratégica, la discusión sugiere que las organizaciones deben enfocar la migración IPv6 como un proyecto holístico de actualización tecnológica, más que una simple configuración de red.

Esto involucra gestión del cambio (entrenar gente, actualizar procesos) y coordinación multiárea (redes, sistemas, seguridad). Los hallazgos así reafirman que IPv6 entrega lo prometido en simplificación y capacidad, pero alcanzar esos beneficios requiere inversión planificada – lo que en administración estratégica se traduce a calcular el timing apropiado. En términos económicos, en Registro de Direcciones de Internet para América Latina y el Caribe (LACNIC) (2024), se observa que algunos operadores percibieron la migración temprana como un costo sin beneficio inmediato (dual-stack pain point), pero conforme el entorno, se hace evidente el costo de oportunidad de no migrar (por ejemplo, tener que pagar sumas altas por direcciones IPv4, o no poder lanzar cierto servicio por falta de direcciones globales).

Así, la discusión apunta a un cambio de percepción: de ver IPv6 como gasto, a verlo como inversión estratégica inevitable, especialmente al considerar las tendencias de IoT, 5G y crecimiento de Internet. Durante este año en curso, la trayectoria sugiere que llegar tarde a IPv6 podría dejar a organizaciones en desventaja operacional y financiera.

Otro aspecto discutible es el rol de las políticas y mandatos en acelerar la adopción. Los hallazgos mostraron que en entornos con directivas fuertes (E.E.U.U., China, sector público), la adopción se disparó, mientras que, en ausencia de estas, la transición quedó relegada. Esto plantea la pregunta: ¿debe la adopción de IPv6 ser un acto voluntario guiado por mercado, o requieren más intervenciones regulatorias? Desde la perspectiva de administración de redes en instituciones, si un regulador impone IPv6, el gestor de TI tiene respaldo para justificar recursos

y proceder; en ausencia de esa presión, puede ser más difícil ganar prioridad en el presupuesto.

Esta dinámica se vincula con conceptos de teoría de adopción tecnológica (difusión de innovaciones): entonces, IPv6 ya pasó la etapa de “innovadores” y “adoptantes tempranos” y entra en la mayoría temprana, pero quizá necesita empujones para cruzar el “abismo” en ciertos sectores. La discusión sugiere que una colaboración público-privada es beneficiosa: por un lado, políticas gubernamentales (como compras públicas con requisito IPv6) generan mercado; por otro, el éxito de empresas grandes motiva a otras a no quedarse atrás.

En términos de contribución al conocimiento y la práctica, este estudio y sus hallazgos reafirman varias premisas y aportan claridad en áreas específicas. Se confirma que IPv6 no es un experimento sino una realidad operativa que aporta soluciones a problemas que IPv4 ya no puede resolver (principalmente escalabilidad). Adicionalmente, Pulido y Osorio (2014), afirman que se contribuye al cuerpo de conocimiento, al compilar evidencias actualizadas dispersas: por ejemplo, se juntaron datos de rendimiento de distintas fuentes para formar un cuadro coherente de que IPv6 puede mejorar performance en escenarios comunes, algo que puede influir en futuras investigaciones de QoS en IPv6.

También se destacaron brechas como la necesidad de mejores herramientas de gestión para IPv6 (por ejemplo, IPAM robustos, o monitorización integral), lo cual, tal como lo establece Enriquez-Lenis y Agredo-Méndez (2015,) puede guiar a proveedores y desarrolladores a enfocar esfuerzos. Para la academia, observar cómo entornos educativos implementaron IPv6 proporciona lecciones aprendidas valiosas, como la importancia de la capacitación, que pueden ser incorporadas en currículos de ingeniería de redes (incluir más laboratorios de IPv6 para que los nuevos profesionales salgan preparados, mitigando la brecha de habilidades detectada).

Finalmente, la discusión debe reconocer limitaciones de los resultados: Si bien se tomaron datos globales, la interpretación puede cambiar en sectores muy específicos (por

ejemplo, redes industriales SCADA aún luchan con soporte IPv6, algo no profundizado aquí). Además, muchas estadísticas provienen de mediciones de tráfico a ciertos contenidos Cloudflare (2024), que pueden sesgar hacia usuarios residenciales; la adopción en redes corporativas privadas podría ser menor de lo que los porcentajes globales indican. Esto sugiere que, en empresas, tal vez la transición interna va detrás de la de proveedores de Internet.

La razón podría ser que empresas podían seguir usando IPv4 privado sin enfrentarse al agotamiento directo. Este matiz indica que la siguiente gran etapa es la adopción dentro de intranets corporativas e industriales, para la cual los incentivos son diferentes (no la escasez, sino la necesidad de integración con IoT, o con partners que usan IPv6). Por tanto, Jiménez (2024), considera un punto de discusión; el cómo motivar a esos sectores “aislados” una vez que el mundo externo sea mayoritariamente IPv6: una hipótesis es que eventualmente mantener gateways para traducir al mundo IPv6, será más engorroso que actualizar internamente, inclinando la balanza.

En conclusión, de la discusión, al enlazar todos los puntos: los patrones indican que IPv6, sí cumple un rol estratégico en la administración de redes al ofrecer un camino sostenible de crecimiento y mejoras operativas. Sin embargo, la transición es un proceso sociotécnico que aún está en marcha, con éxitos notables, pero también áreas que requieren atención (educación continua, actualización de herramientas, colaboración internacional).

Las organizaciones que han adoptado IPv6 reportan mayor preparación para el futuro y simplificación, confirmando la premisa de investigación de que IPv6 es más que un cambio técnico: es un habilitador estratégico. No obstante, alcanzar ese punto óptimo demanda superar retos con apoyo institucional, lo cual enriquece la narrativa: IPv6 no es únicamente un estándar de Internet, sino un proyecto colectivo global que involucra políticas, economías y personas, además de paquetes y protocolos. Esta visión amplia es la principal contribución conceptual que surge al analizar los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

En este artículo se exploró a profundidad la adopción de IPv6 como solución estratégica en la administración de redes, cubriendo sus fundamentos técnicos, comparativa con IPv4, ventajas, desafíos y casos de estudio en diversos sectores. A continuación, se presentan las conclusiones principales, junto con las implicaciones, limitaciones del estudio y propuestas de futuras líneas de investigación:

IPv6 es técnicamente sólido y necesario para la sostenibilidad de Internet: Los hallazgos confirmaron que IPv6 cumple con lo que fue diseñado para resolver: provee un espacio de direcciones prácticamente ilimitado, permitiendo recuperar la sencillez de conectividad extremo a extremo sin NAT. Las características técnicas (autoconfiguración, seguridad integrada, encabezado simplificado) aportan mejoras reales en la operación de las redes. El IPv6 es la única ruta sostenible para el crecimiento de redes educativas y de la Internet en general. Estratégicamente, adoptar IPv6 asegura a las organizaciones poder seguir expandiendo servicios y dispositivos en el futuro, soportar la explosión de IoT y participar plenamente en la economía digital sin las ataduras del legado IPv4.

Las ventajas estratégicas tangibles superan a los costos iniciales: IPv6 aporta simplificación arquitectónica, escalabilidad y eficiencia que se traducen en beneficios estratégicos. Entre ellos, destaca la reducción de complejidad operativa (al eliminar NAT y esquemas de direccionamiento complejos), la mejora potencial de rendimiento en ciertos escenarios (menos latencia y mayor throughput, respaldados por estudios) y ahorros a mediano plazo, evitando compra/licitación de direcciones IPv4, y reduciendo inversiones en parches como CGNAT.

Si bien la transición conlleva costos iniciales – actualización de equipos, capacitación de personal, coexistencia dual-stack – la evidencia sugiere que estos son mayormente costos

hundidos de una modernización necesaria. A largo plazo, las organizaciones que migran a IPv6 reportan operaciones más ágiles, facilidad para desplegar nuevos servicios y cumplimiento con estándares y regulaciones emergentes. En términos estratégicos, IPv6 habilita a las áreas de TI y redes para convertirse en facilitadores del negocio. Así, los beneficios en competitividad, innovación y resiliencia justifican ampliamente la adopción de IPv6 en la planificación estratégica de la infraestructura.

La adopción de IPv6 avanza, pero con brechas que requieren atención: Globalmente, IPv6 ha logrado cerca de 40-45% de adopción del tráfico en 2024, un progreso significativo respecto a años anteriores. Países de distintos contextos han demostrado que la transición es posible y beneficiosa. Sin embargo, existen brechas notables: varias regiones en desarrollo muestran adopción muy baja (<5%), y sectores enteros permanecen mayoritariamente en IPv4. Esto plantea el riesgo de una Internet fragmentada, donde una parte significativa de usuarios y sistemas se rezaguen en el espacio IPv4 con acceso degradado o indirecto a servicios modernos.

Para evitarlo, se requieren esfuerzos coordinados: políticas públicas que incentiven IPv6, mayor difusión de casos de éxito locales que derriben mitos, y soporte técnico a quienes enfrentan barreras. La comunidad técnica debe focalizarse en cerrar la brecha, ayudando a los “últimos en la fila” a incorporarse a IPv6, garantizando así la homogeneidad y estabilidad de la red global.

Los desafíos de transición manejables mediante planificación y capacitación son: Los obstáculos identificados – equipamiento heredado, falta de conocimiento, coexistencia temporal, seguridad – son reales, pero no insalvables. La experiencia recopilada indica que una buena planificación es clave: inventariar infraestructura, probar en pequeño antes de producción, formar comités IPv6 internos que involucren seguridad y desarrollo, y definir cronogramas graduales (por segmentos de red o servicios).

La capacitación continua del personal de TI emerge como factor crítico de éxito; invertir en entrenamiento IPv6 reduce errores, mejora la confianza del equipo y a la larga acelera la adopción. Asimismo, apoyarse en la comunidad (prácticas, foros, grupos de trabajo) disminuye la curva de aprendizaje. En suma, los desafíos pueden ser mitigados con un enfoque proactivo: las organizaciones deben anticiparlos en su hoja de ruta IPv6 en lugar de usarlos como excusa para retrasar la acción. Los casos analizados demuestran que, tras superar la fase inicial de adaptación, la operación en IPv6 se vuelve rutinaria y estable.

Este artículo aporta una síntesis actualizada y comprehensiva sobre IPv6 en la administración de redes, integrando perspectivas técnicas y estratégicas. Se confirman algunas hipótesis previas (IPv6 mejora escalabilidad sin impactos negativos en performance, la adopción es lenta por factores humanos más que técnicos) y se ofrecen datos concretos recientes que enriquecen la literatura en español sobre el tema.

Como limitación, cabe mencionar que la investigación se basó principalmente en fuentes secundarias y casos reportados; no se realizó trabajo de campo propio. Por tanto, podría haber sesgos en la información disponible hacia los casos más publicitados o exitosos.

Para investigaciones futuras, se proponen:

- a) Estudios empíricos en sectores específicos aún rezagados (por ejemplo, estado de IPv6 en redes industriales SCADA, en pymes, o en países con <1% adopción) para identificar barreras particulares y soluciones dirigidas.
- b) Análisis de redes IPv6-only – conforme algunas organizaciones lleguen a ese punto, investigar el impacto en costos operativos, seguridad y rendimiento al eliminar completamente IPv4.
- c) Exploración de nuevas aplicaciones aprovechando IPv6, por ejemplo, en vehículos conectados, ciudades inteligentes, donde la granularidad de direccionamiento IPv6 podría usarse para mejores controles de acceso o telemetría.

- d) Evaluaciones longitudinales del retorno de inversión (ROI) de migrar a IPv6 en distintos tipos de organizaciones, para ayudar a justificar proyectos a nivel gerencial. Estas líneas ayudarán a afinar las estrategias y acelerar la adopción informada de IPv6.

Para finalizar se podría afirmar que el IPv6 se erige como una piedra angular en la evolución de las redes informáticas. Representa un cambio de paradigma hacia redes más simples, directas y capaces de soportar la continua expansión de Internet en todas las facetas de la sociedad. Los administradores de red y estrategas de TI deben reconocer que migrar a IPv6 no es un fin en sí, sino un medio para habilitar innovación y crecimiento.

Quienes tomen el paso de forma planificada y consciente cosecharán los frutos de una infraestructura preparada para las demandas del siglo XXI, mientras que postergar la transición solo incrementará las dificultades y costos en el futuro. Como comunidad tecnológica, la meta compartida debe ser lograr una Internet plenamente IPv6 en los próximos años, asegurando así la conectividad universal y el desarrollo de nuevas oportunidades sobre una base de red sólida y escalable.

Declaración de conflicto de interés

Declaro no tener ningún conflicto de interés relacionado con esta investigación.

Declaración de contribución a la autoría

Valentino Raffaele Crocetta Yanuario: conceptualización, redacción del borrador original, revisión y edición de la redacción

Declaración de uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que no utilizaron Inteligencia Artificial en ninguna parte de este manuscrito.

REFERENCIAS

- Akamai. (2022, 6 de junio). *10 years since World IPv6 Launch*. Akamai Blog.
<https://www.akamai.com/blog/trends/10-years-since-world-ipv6-launch>
- Apple Engineering. (2020). *IPv6 performance measurements on iOS 14*. Apple Developer Technical Note.
- Brzozowski, J. (2018). *T-Mobile USA IPv6 only, 464XLAT, and what it means for you* [Presentación en NANOG 72].
<https://www.tiktok.com/@paco.benitez/video/7196872546254441733>
- Cherryservers. (2023). *IPv4 vs. IPv6: Key differences and features*. Cherry Servers Blog.
<https://www.cherryservers.com/blog/differences>
- Cloudflare. (2024). *Cloudflare 2024 year in review*. Cloudflare Radar Blog.
<https://blog.cloudflare.com/radar-2024-year-in-review/>
- Colitti, L. (2015). *IPv6 at Facebook: One year later*. Facebook Engineering.
- Deering, S., & Hinden, R. (2017). *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) specification (RFC 8200)*. Internet Engineering Task Force (IETF). <https://www.rfc-editor.org/info/rfc8200>
- Enriquez-Lenis, A., & Agredo-Méndez, M. (2015). Análisis de rendimiento en redes IPv6. *Entramado*, 11(2), 266–276. <https://www.redalyc.org/pdf/2654/265440664016.pdf>
- European Telecommunications Standards Institute. (2014). *Network Functions Virtualisation (NFV)*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/nfv-sec/001_099/001/01.01.01_60/gs_nfv-sec001v010101p.pdf
- Fang, Y., et al. (2025). An IPv6 address fast scanning method based on local domain name association. *Scientific Reports*, 15(1), Art. 11524. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95680-w>

- Godoy, J. (2022). *Adopción de IPv6 en la Universidad Estatal de Campinas: Una cuestión de supervivencia en un mundo conectado*. Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP).
- Google. (2024). *Google IPv6 adoption statistics – January 2024*. Google Transparency Report.
- Huston, G. (2024). *The IPv6 Internet*. APNIC Labs. <https://stats.labs.apnic.net/ipv6>
- Internet Engineering Task Force. (2017). *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) specification (RFC 8200)*. RFC Editor. <https://www.rfc-editor.org/info/rfc8200>
- Jiménez Ramírez, L. (2024). Despliegue de IPv6 en la Facultad de Estudios Superiores Aragón. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC*, 2(4), 82. <https://doi.org/10.22201/dgtic.ctud.2024.2.4.82>
- Mizutani, H., et al. (2019). Performance measurements of IPv6 streaming at AbemaTV. *Proceedings of APNOMS 2019*, 33–40.
- Naagas, S. V., & de Guzman, P. C. (2020). IPv6 campus transition: A Central Luzon State University case study. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(3), 183–191.
- Number Resource Organization. (2011). *Agotamiento del pool central de direcciones IPv4 de la IANA*. <https://www.reddit.com/r/USCIS/comments/17e7sbt/orig>
- Pulido, M. A. P., & Osorio, J. F. L. (2014). Transporte de voz en entornos IPv4 e IPv6. *Revista Vis-à-vis*, 13(1), 77–87.
- Registro de Direcciones de Internet para América Latina y el Caribe (LACNIC). (2024). *Informe anual de actividades 2023*. <https://www.lacnic.net/18/1/lacnic/reporte-anual>
- RIPE NCC. (2023). *IPv6 deployment best practices: Overcoming common challenges*. RIPE Network Coordination Centre. <https://www.ripe.net/publications/docs/ripe-docs>
- Thomson, S., & Narten, T. (2007). *IPv6 Stateless Address Autoconfiguration (RFC 4862)*. Internet Engineering Task Force. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4862>