



IPv6

IPV6 MEJORADO:

Impulsando las redes de próxima generación de México con IPv6 Mejorado.

IPv6 Mejorado:

Impulsando las redes de
próxima generación de México
con IPv6 Mejorado

Contenido

Resumen ejecutivo	3
Introducción	7
Beneficios de IPv6 e IPv6 Mejorado	9
Estado de desarrollo global de IPv6	19
Desarrollo y sugerencia del plan de implementación del IPv6 en México	30
Casos de uso de IPv6 Mejorado	36
IPv6 Mejorado para potenciar la infraestructura de conectividad	40
Conclusión	47
Anexo	49

Resumen ejecutivo

Los beneficios de una sociedad digital ya son indiscutibles para los gobiernos y los ciudadanos de todo el mundo. Muchas naciones están adoptando planes estratégicos para fomentar una economía digital, ya que es una forma de incrementar el PIB (Producto Interno Bruto) de los países. Según estimaciones de distintas fuentes, la contribución de la economía digital al PIB de muchos países se sitúa en torno al 10%, pero las predicciones más optimistas elevan la proporción a casi el 40%. Además de contribuir a la economía, la digitalización puede mejorar el desempeño y la eficiencia de toda la administración pública y hacer que los servicios públicos, como la salud y la educación, sean más accesibles y equitativos para todos los ciudadanos.¹

Una sociedad digital debe construirse sobre una base sólida de conectividad, una infraestructura de red. Esta infraestructura de red tiene la capacidad, capilaridad y calidad para soportar los múltiples servicios de la economía. En el pasado, Internet solía conectar personas con personas o personas con aplicaciones que se ejecutaban en centros de datos. Pero, cada vez más, Internet necesita conectarse a una variedad más amplia de dispositivos, máquinas y usuarios finales, lo que hace que el número de conexiones crezca exponencialmente.

Para buscar atender este crecimiento surgió IPv6, el cual fue lanzado en 1998 contemplando un espacio de direcciones mucho mayor para acomodar el número de dispositivos conectados durante un tiempo mucho mayor. Sin embargo, la posibilidad de contar una gran cantidad de direcciones no es la única ventaja de IPv6; la definición de IPv6 incluye características que resuelven las limitaciones de IPv4, como la seguridad y la movilidad. Sin embargo, el aspecto más importante de IPv6 es que está diseñado con funcionalidades y extensiones innovadoras para el futuro que se incorporarán sin dificultad.

Aunque los sectores público y privado y los reguladores reconocieron desde el principio que el IPv6 es la solución definitiva al problema de la escasez de direcciones IP, el nivel de adopción del IPv6 ha sido bajo y desigual durante los últimos años. Muchas instituciones y organizaciones están monitoreando el nivel de adopción mundial del IPv6 utilizando diferentes metodologías. Algunos reguladores, como ARCEP (Autoridad Reguladora de las Comunicaciones Electrónicas, Postales e Impresos de Francia) en Francia, también publica periódicamente informes nacionales sobre la adopción de IPv6 y el nivel de disponibilidad de las infraestructuras, indicando claramente dónde deben desplegarse más esfuerzos para avanzar.²

¹ «Construir conjuntamente una comunidad con un futuro compartido en el ciberespacio», publicado por la Oficina de Información del Consejo de Estado de China <https://news.cgtn.com/news/2022-11-07/China-s-digital-economy-accounts-for-40-percent-of-GDP-1eLDqJMzxWE/index.html>

² <https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-chiffrees/transition-ipv6/barometre-annuel-de-la-transition-vers-ipv6-en-france.html>

Según APNIC (Asia Pacific Network Information Centre), Centro de Información de la Red de Asia y el Pacífico), una fuente frecuentemente consultada para obtener estadísticas de Internet, la adopción mundial del IPv6 ha alcanzado alrededor del 38% a septiembre de 2024. En América, el nivel de adopción alcanza el 43%. México es uno de los países líderes de la región, con una tasa de adopción del 51,6%, apenas detrás de Uruguay. Cabe destacar que la adopción del IPv6 en México comenzó a aumentar significativamente desde un nivel casi insignificante en 2017, coincidiendo con algunas acciones tomadas por el IFT.³

El hecho de que IPv6 no sea compatible con IPv4 dificultó a muchos usuarios la transición de IPv4 a IPv6. Esto, junto con la disponibilidad de soluciones alternativas para evitar la limitación del número de direcciones de IPv4, es una de las razones por las que aún estamos por debajo del 50% de adopción de IPv6 a nivel mundial. Otra razón del lento ritmo de crecimiento es que los operadores de telecomunicaciones y las empresas aún pueden adquirir direcciones IPv4 en los mercados secundarios mientras continúan planificando su transición a IPv6.

Como resultado, para algunos participantes del mercado, la disponibilidad de más direcciones no es motivo suficiente para impulsarlos a adoptar IPv6, lo que hace que la transición a un escenario de “solo IPv6” sea largo e incierto. Afortunadamente, la apertura del IPv6 a la innovación es una ventaja significativa. Actualmente, se están desarrollando un gran número de soluciones innovadoras sobre IPv6 debido a la naturaleza abierta de este protocolo y porque, desde 2016, no se ha exigido compatibilidad con IPv4 para las innovaciones de protocolos, acorde a la indicación establecida por el IAB (Internet Architecture Board), Consejo de Arquitectura de Internet del IETF (Internet Engineering Task Force), Grupo Operativo de Ingeniería de Internet. En este contexto, algunos nuevos protocolos basados en IPv6, conocidos colectivamente como “IPv6 Mejorado” (*IPv6 Enhanced* en inglés), se han desarrollado y se ha demostrado que proporcionan valores claros y mejorados a los operadores de telecomunicaciones y a las empresas. Algunos de los protocolos IPv6 Mejorado son *SRv6* (*Segment Routing IPv6* - Enrutamiento por Segmentos IPv6), *slicing* (Particionado/Rebanado - Permite crear rutas de manera lógica sobre una misma red física), *BIERv6* (Bit Index Explicit Replication v6 - Replicación Explícita del Índice de Bits v6) e *IFIT* (In Situ Flow Information Telemetry – Telemetría de Información de Flujo in Situ), que mejoran la calidad de experiencia de las conexiones, la operación y mantenimiento de la red, ayudan a los operadores a lanzar servicios premium, etc. Estas soluciones mejoradas de IPv6 de valor agregado están impulsando una nueva ola de adopción del IPv6 y acelerando su avance hacia un escenario exclusivo para el mismo (*IPv6-Only scenario*). El fomento de la adopción del IPv6 Mejorado ya forma parte del plan de muchos reguladores y países, ya que perciben los beneficios del IPv6 más allá de la provisión de más direcciones.

Las estrategias y planes de transformación digital de muchos países requieren la construcción o modernización de infraestructuras de comunicación de datos de operadores y empresas. En asociaciones industriales como WBBA (Asociación Mundial de Banda Ancha) se están desarrollando debates sobre las aplicaciones y los casos de uso que impulsarán nuestra vida diaria a mediano plazo, así como sobre los requisitos de dichas aplicaciones. También definen la red objetivo que cumple con esos requisitos.

³ <https://stats.labs.apnic.net/ipv6/>

Los avances importantes en IA (Inteligencia Artificial) y el poder de la supercomputación son catalizadores importantes para la transformación digital en numerosos sectores, impulsando el desarrollo económico. Al mismo tiempo, estos avances están imponiendo nuevas exigencias a la infraestructura de red IP subyacentes (comunicaciones de datos) en varios dominios y verticales, incluidas las redes de campus y las redes de centros de datos, para admitir modelos de capacitación de IA más amplios. Estas redes futuras evolucionadas han sido definidas por WBBA como Net5.5G, que proporcionan suficiente capacidad para casos de uso empresariales y domésticos de 2025 a 2030. Esto incluye imágenes de vídeo de alta resolución en tiempo real sin ninguna degradación de la calidad, comunicación holográfica, dispositivos de IoT (Internet de las Cosas) pasivos y todas las aplicaciones verticales futuras tales como la agricultura inteligente, líneas de fabricación de manufactura, educación, hospitales, entre otras.

IPv6/IPv6 Mejorado desempeña un papel predominante en la definición de Net5.5G. Mientras que IPv6 admite una gran cantidad de conexiones, los protocolos mejorados IPv6 proporcionan la calidad de experiencia requerida y facilidades de Operación y Mantenimiento (O&M) a un gran número de conexiones. La transición a Net5.5G es necesaria para modernizar la red de comunicación de datos IP de extremo a extremo perfectamente integrada.

Net5.5G, habilitada por IPv6 Mejorado, es la red del futuro para la era de la IA, la nube y el Internet de las cosas (IoT). Net5.5G admite la cantidad y calidad de conexiones que proporcionan suficiente capacidad para casos de uso empresariales y domésticos para los próximos años de 2025 a 2030, como son:

- Imágenes de vídeo de alta resolución en tiempo real sin degradación de la calidad.
- Comunicación holográfica mediante tecnología de detección inalámbrica para la comunicación entre vehículos en carretera.
- Implementación de dispositivos de IoT pasivos que gestionan el seguimiento de almacenes y logística inteligentes.
- Agricultura inteligente, industria manufactura, educación, hospitales, etc.

Como parte de las definiciones, Net5.5G considera las tecnologías clave que pueden proporcionar alta capacidad a la infraestructura E2E (*End to End*), extremo a extremo: WIFI 7 en la red del campus donde se conectan los terminales, 400GE / 800GE en la red troncal de las redes de transmisión de datos, y 400GE / 800GE en las redes de centros de datos (DCN). Net5.5G es el consenso de la industria para una red objetivo de alta capacidad y alta calidad.

La tecnología mejorada IPv6 se considera una innovación fundamental y un facilitador clave en la evolución de las redes para la era de Net5.5G. Proporciona la flexibilidad necesaria para implementar casos de uso y tecnologías emergentes, incluidas conexiones a sitios 10G, Wi-Fi 7, 400GE de extremo a extremo, mapeo digital de extremo a extremo, redes determinísticas, y una red consciente de las aplicaciones/informática con SRv6 ((Segment Routing v6), Ruteo por Segmentos v6) para obtener capacidades extensibles.

IPv6 Mejorado es la piedra angular de la futura infraestructura de conectividad y redes de la era de la Inteligencia Artificial (IA). Con el fin de fomentar la adopción de IPv6 e IPv6 Mejorado en México y medir su progreso, se proponen metas para algunos Indicadores Clave de Desempeño (KPI) basados en mejores

prácticas y planes similares en otros países líderes en la adopción del IPv6. Dado que la adopción del IPv6 en México ya supera el 50%, la tasa sugerida para 2027 es del 60% y del 70% para 2030.

Introducción

La conectividad es el pilar fundamental de una economía digital. Las sociedades y el comercio están evolucionando cada vez más hacia aplicaciones que requieren un uso intensivo de ancho de banda, como 5G, computación en la nube e Internet de las cosas (IoT), que requieren soluciones de redes IP de alto rendimiento. Para abordar el agotamiento de direcciones IPv4, es necesario adoptar una conectividad basada en IPv6, que es crucial en esta era digital.

Adoptar conectividad basada en IPv6 a través de traducciones de red a nivel de operador (CG-NAT) es aún más importante que resolver el agotamiento de direcciones IPv4. La *cloudificación* (evolución a los servicios basados en nube) de los distintos verticales empresariales y la transformación digital más amplia, implican que las redes IP deben soportar un número cada vez mayor de servicios clave. La demanda de conexiones inteligentes, la automatización industrial y las experiencias de servicio inmersivas por parte de los usuarios requieren capacidades mejoradas de IPv6 e IA en el panorama de evolución de los servicios en la nube a nivel empresarial.

Como se ilustra en la Figura 1, los estrictos requisitos de servicio generaron la necesidad de contar con sistemas de redes IP de alto rendimiento, donde la conectividad y las experiencias de usuario mejoradas implican una alta demanda. En consecuencia, los proveedores de servicios de comunicaciones (CSP) y las empresas están acelerando la modernización de sus redes habilitadas para IPv6 y la expansión de su infraestructura de red actualmente congestionada.

Figura 1: La conectividad inteligente es la base del éxito de una economía digital



Antes de analizar las razones para adoptar IPv6, examinaremos los desafíos asociados con las redes IPv4 existentes.

Este informe ofrece un análisis técnico exhaustivo y pone de relieve la importancia y urgencia de adoptar IPv6 y las tecnologías mejoradas del IPv6, que conducen a una mayor innovación. La transición a IPv6 es fundamental para soportar el creciente número de dispositivos conectados y abordar las limitaciones de IPv4, lo que permite mejorar el rendimiento y la escalabilidad de la red. El informe presenta cómo se están adoptando IPv6 e IPv6 Mejorado en México y en todo el mundo, algunos casos de uso y un posible plan para aumentar su adopción en México.

Beneficios de IPv6 e IPv6 Mejorado

Desafíos clave de las redes tradicionales habilitadas para IPv4

Los proveedores de servicios de comunicaciones (CSP) y las empresas reconocen que IPv4 se está convirtiendo en un recurso bastante escaso y presenta obstáculos significativos en el camino hacia la modernización de redes IP inteligentes. Abordar las limitaciones de IPv4 suele requerir mecanismos complejos para garantizar acuerdos de nivel de servicio garantizados (SLA). A continuación, se presentan algunos de los principales desafíos asociados con IPv4 que dificultan la innovación en redes IP:

1. Limitaciones de espacio

- **Cuello de botella para el Internet de las Cosas (IoT):** Los proveedores de servicios de comunicaciones (CSP) encuentran que el limitado espacio de direccionamiento de IPv4 es un cuello de botella importante cuando se implementan redes de Internet de las cosas masivas. El crecimiento exponencial de los dispositivos conectados exige más direcciones IP de las que se pueden proporcionar en IPv4.

2. Unificación del reenvío entre dominios de red IP

- **Complejidad:** Unificar el reenvío a través de diferentes dominios de red IP supone un desafío complejo debido a las limitaciones inherentes de IPv4.

3. Escalabilidad y expansión

- **Limitaciones de hardware y direcciones IPv4:** La escalabilidad y expansión de la red se ven limitadas por la vinculación de las limitaciones de hardware y la escasez de direcciones IPv4, lo que dificulta la adaptación y evolución al crecimiento requerido.

4. Mantenimiento y seguridad

- **Complicaciones de NAT (Traductores de direcciones de red):** Los procedimientos de mantenimiento y seguridad son complicados debido al uso de traductores de direcciones de red (NAT), que son necesarios para ampliar el espacio de direccionamiento IPv4, pero añaden capas de complejidad.

5. Sobrecargas IPv4/IPv6 de doble pila

- **Impacto en el rendimiento:** La ejecución de IPv4 e IPv6 de doble pila (*Dual Stack*) genera sobrecargas operativas y mayores latencias, además de evitar experiencias mejoradas para los usuarios finales debido a la complejidad de administrar dos protocolos simultáneamente.

6. Aprovisionamiento y personalización de servicios

- **Desafíos:** Lograr un aprovisionamiento de servicios más rápido y personalizaciones de servicios bajo demanda sigue siendo un desafío en todas las redes IPv4.

7. Tiempo de comercialización para las innovaciones (*Time-to-market*)

- **Experiencia de servicio:** Garantizar un tiempo rápido de lanzamiento al mercado de las innovaciones del servicio mientras se ofrecen experiencias de servicio que son sin precedentes y con operaciones de red simplificadas en toda la red IP, es un problema sin resolver en IPv4.

8. Acuerdos de Niveles de Servicio (SLA) bajos y reenvío complejo de paquetes

- **Mapeo de aplicaciones:** Existiendo una falta un mapeo detallado y con acuerdos de niveles de servicio (SLAs) exigentes, sumado a un reenvío de paquetes complejo y una orquestación entre las aplicaciones innovadoras y las capacidades de la red IP, resulta muy complejo utilizando IPv4.

9. Sinergia inteligente de redes en la nube

- **Desafíos de doble pila:** Lograr la sinergia de red inteligente en la nube con la implementación de doble pila (*Dual Stack*) resulta un desafío importante.

Ante estos desafíos, el objetivo claro para los proveedores de servicios de comunicaciones (CSP) y las empresas es la transición hacia redes IPv6 que ofrecen una solución más escalable y eficiente para las necesidades de redes IP modernas.

En resumen, si bien las implementaciones IPv4-IPv6 de doble pila proporcionan una solución de transición, el objetivo final debe ser adoptar redes IPv6 para superar estas limitaciones e impulsar la innovación en redes IP.

Figura 2: Desafíos clave asociados a las redes tradicionales habilitadas para IPv4 que dificultan la innovación en redes IP



Fuente: Omdia

IPv6 impulsa el futuro del futuro.

La industria reconoce que IPv6 es el protocolo de Internet inevitable de próxima generación, ideal para satisfacer la demanda global de 5G, IoT y la era de la nube. Los servicios en la nube de los verticales empresariales y la transformación digital significan que las redes IP puedan transportar un número cada vez mayor de servicios clave. La demanda de conexiones inteligentes, automatización industrial y una experiencia de servicio inmersiva por parte de los usuarios, requiere capacidades mejoradas de IPv6 e inteligencia artificial en los servicios empresariales basados en la nube. Esto hace que IPv6 sea crucial para prevenir lo que podría percibirse como el "fin de Internet" debido a las limitaciones de IPv4. IPv6 cambia los atributos de conexión y puede integrar diferentes redes más fácilmente en función de su facilidad de acceso.

El papel de la IA en la evolución de la red

La IA impulsa significativamente la evolución de las soluciones de red unificadas para recursos informáticos y de almacenamiento. Esto permite una programación flexible entre dominios IPv6

Mejorado, que abarca funcionalidades definidas por el IETF (como capacidades de red SRv6 extremo a extremo), facilita la sinergia entre la red y la nube totalmente inteligente. La funcionalidad de red mejorada en IPv6 admite la innovación a través de nuevas funciones como SRv6, BIERv6, SDN (Redes Definidas por Software, del inglés *Software Defined Networks*) con IA, operaciones de red y mantenimiento y automatización, lo que brinda una mayor adaptabilidad a la red. El aprovisionamiento de redes IP sin contacto (del inglés “*zero-touch*”) basado en IA (inteligencia artificial), la automatización de WAN (Red de Area Extendida, del inglés *Wide Area Network*), las operaciones y el análisis predictivo avanzado basado en aprendizaje automático (ML, del inglés *Machine Learning*) siguen siendo el punto central de los debates. El futuro de las operaciones de TI basadas en IA (AIOps) en la integración de la nube y la red para la transformación digital. Los proveedores de servicios necesitan sugerencias de los vendedores de infraestructura (*vendors*) para pasar de L3 a L5 basándose en una infraestructura de sistemas completamente autónomos y autorreparables para reducir los costos operativos de la red. Aprovechar las capacidades del ML y los contenedores de macrodatos ricos en contexto (del inglés, *content-rich big data lakes*) para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las redes de transporte portadoras IP subyacentes con orquestaciones LAN y WAN administradas eficientemente son actualmente los puntos principales de la agenda de las operadoras de telecomunicaciones. Es un hecho que la obtención de conocimientos de red basados en IA y ML ayudará a los proveedores de servicios a garantizar que los procesos de transformación digital de las empresas y los distintos verticales, de forma que sean fluidos y a realizar un verdadero proceso de transformación.

IPv6 Mejorado permite capacidades de red E2E SRv6

Abordar el agotamiento de direcciones IPv4 significa adoptar una conectividad basada en IPv6, que es esencial para la era digital. Las redes modernas se esfuerzan por lograr la sinergia de red en la nube, la cual es necesaria para una programación flexible de recursos informáticos heterogéneos mediante IPv4. En consecuencia, millones de empresas están migrando a la nube y exigen redes portadoras de transporte basadas en IPv6 convergentes e inteligentes para conectar recursos de la nube.

IPv6 Mejorado, en particular con el protocolo SRv6, garantiza capacidades de señalización de túneles y direcciones IP de extremo a extremo simplificadas y unificadas, lo que permite llegar a los contenedores de datos, a los sistemas de usuarios finales, a las redes de campus y logra reducir la necesidad de conversiones entre dominios.

IPv6 Mejorado proporciona encapsulaciones más sencillas para el corte de redes (del inglés, *Network Slicing*) habilitado para 5G y mejora la calidad de la red, así como visualización a través de mediciones de flujo dentro de banda y visualizaciones de red. IPv6 Mejorado garantiza un aprovisionamiento rápido, la optimización de rutas y la garantía por flujo con conocimiento basado en aplicaciones en redes autónomas.

Las redes con IPv6 Mejorado permiten innovaciones en el servicio, una calidad de servicio (QoS) diferenciada mediante segmentación de redes y tiempos de aprovisionamiento reducidos para alinearse con los requisitos de las aplicaciones en la nube mediante controles de automatización y Redes Definidas por Software (SDN-Software Define Networks).

Adicionalmente, IPv6 Mejorado impulsa las innovaciones de red necesarias y proporciona un nuevo soporte funcional integral para SRv6, IA y replicación explícita de índice de bits IPv6 (BIERv6). Esto mejora los controles de red para la automatización de Redes Definidas por Software (SDN-Software Define Networks) en informática de borde (del inglés, *Edge Computing*), IoT industrial (IIoT), convergencia de redes y redes empresariales.

Beneficios de las redes IPv6 Mejoradas

IPv6 sirve como protocolo fundamental, mientras que IPv6 Mejorado, integrado con capacidades de IA, limpia el camino para nuevas innovaciones en servicios y conectividad de red inteligente. Una red IPv6 Mejorada garantiza:

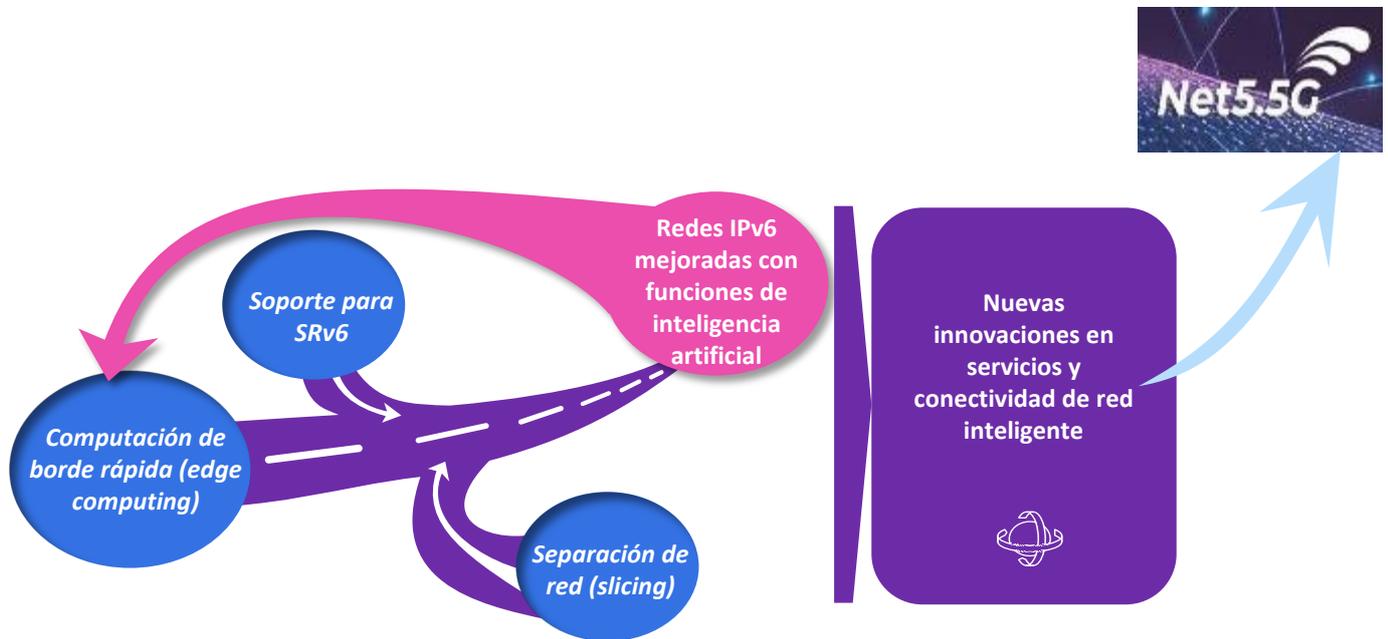
- **Computación de borde rápida (edge computing):** La computación de borde exigirá un mayor ancho de banda de acceso y una menor latencia de las redes de campus y de los consumidores domésticos. Además, la construcción de redes ha pasado de estar orientada a la conexión a estar orientada a la experiencia, y donde la IA garantiza una computación rápida en el borde (Edge).
- **SRv6:** Soporte integral para un acceso sin problemas a múltiples entornos de nube. El enrutamiento de segmentos (SR) es una tecnología de red fundamental para la era 5G. SR lleva la ingeniería de tráfico más allá de la era MPLS de manera rentable al permitir SLA sólidos requeridos para aplicaciones 5G avanzadas. El SRv6 (con capacidades de IA), basado en IPv6 Mejorado, permite la innovación de nuevos servicios y permite la conexión de redes inteligentes. SRv6 extremo a extremo (*end-to-end*) soporta acceso integral a entornos de múltiples nubes. SRv6 mantiene una compatibilidad con telemetría de colas de mensajes inteligentes (MQTT) además de TCP/IP para conectar dispositivos distribuidos en IA-IoT, segmentación flexible y fija a nivel de cliente y habilitada por FlexE y automatización de toda la red impulsada por todo lo anteriormente explicado.

En resumen, las redes SRv6 permiten garantizar una calidad de servicio (QoS) diferenciada mediante la segmentación de redes y reducen el tiempo de prestación de servicios mediante la automatización y el control de redes definidas por software (SDN) para cumplir con los requisitos de las aplicaciones en la nube.

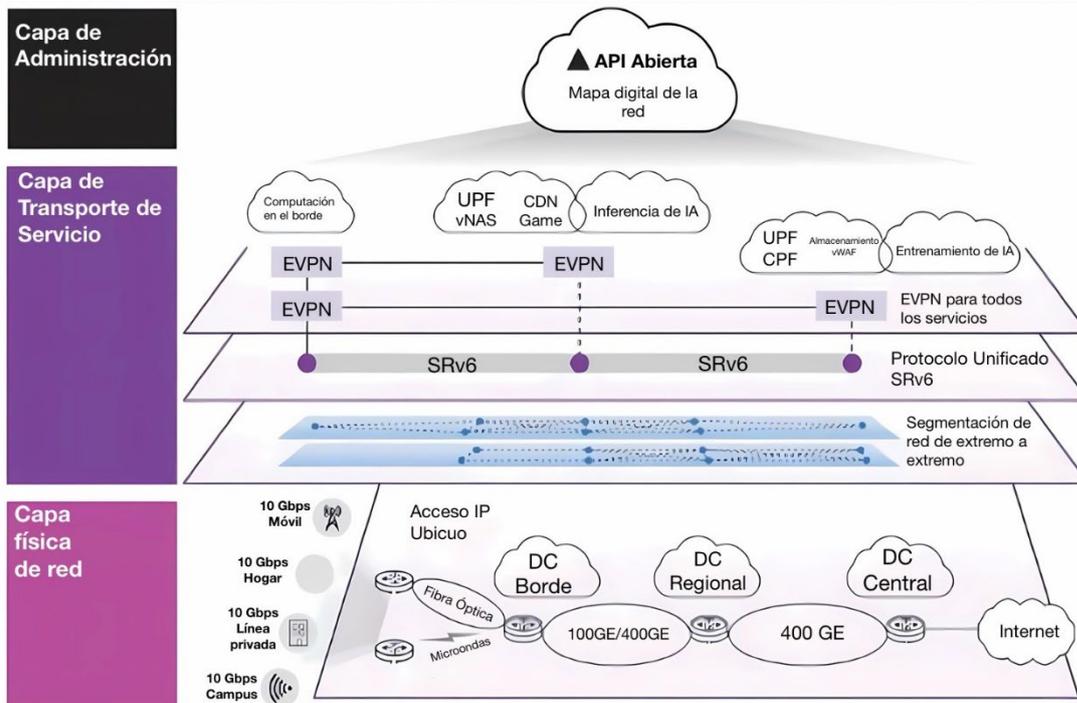
- **Separación de Red (Network Slicing) basado en FlexE (Ethernet Flexible):** Network Slicing para experiencias de usuario deterministas. La amplia capacidad de direcciones de IPv6 es esencial para la escalabilidad de la división de redes. Cada segmento puede requerir direcciones IP únicas para administrar dispositivos y servicios de manera efectiva, lo que se adapta fácilmente a IPv6. Las redes SRv6 permiten garantizar una calidad de servicio (QoS) diferenciada a través de la división de redes. Pueden reducir el tiempo de prestación de servicios mediante la automatización y el control de redes definidas por software (SDN) para satisfacer los requisitos de las aplicaciones en la nube. Los segmentos de red basados en IPv6 Mejorado se implementan cada vez más en redes IP globales para mejorar la experiencia de servicio de clientes industriales y empresariales y permitir que los operadores de telecomunicaciones monetizen los modelos de negocio para el

segmento empresarial. La división garantiza el aislamiento de recursos y seguridad, alta confiabilidad y conexiones topológicas flexibles y personalizables. Y, por último, garantía diferenciada de la calidad del servicio.

Figura 3: Redes con IPv6 Mejoradas con capacidades de inteligencia artificial que facilitan el camino para nuevas innovaciones en servicios y conectividad de red inteligente



Fuente: Omdia



Razones convincentes y beneficios de adoptar IPv6 Mejorado para lograr una mayor innovación.

La adopción de IPv6 Mejorado es imprescindible para los proveedores de servicios, incluidos los proveedores de comunicaciones y servicios en la nube, y para las empresas, a fin de lograr una mayor innovación. El éxito en la era digital depende en gran medida de una sólida conectividad de red. La revolución digital requiere automatización industrial y *cloudificación* (evolución a la nube), con millones de empresas que se trasladan o planean trasladarse a la nube. El objetivo de los operadores es lograr la ubicuidad de las redes y los servicios para lograr una sinergia inteligente de las redes en la nube, garantizando experiencias de usuario excepcionales y deterministas para los consumidores empresariales y residenciales.

Los proveedores de servicios están respondiendo a las demandas urgentes de empresas aprovechando solo las redes IPv6 como servicio (NaaS – *Network as a Service*) para lograr sinergias en redes inteligentes basadas en la nube. A pesar de los esfuerzos de IPv4 con su espacio de direcciones de 32 bits, su manejo de conectividad de red simplificada, no unificada y accesibilidad presenta desafíos.

Beneficios de adoptar IPv6 Mejorado para lograr una innovación mejorada

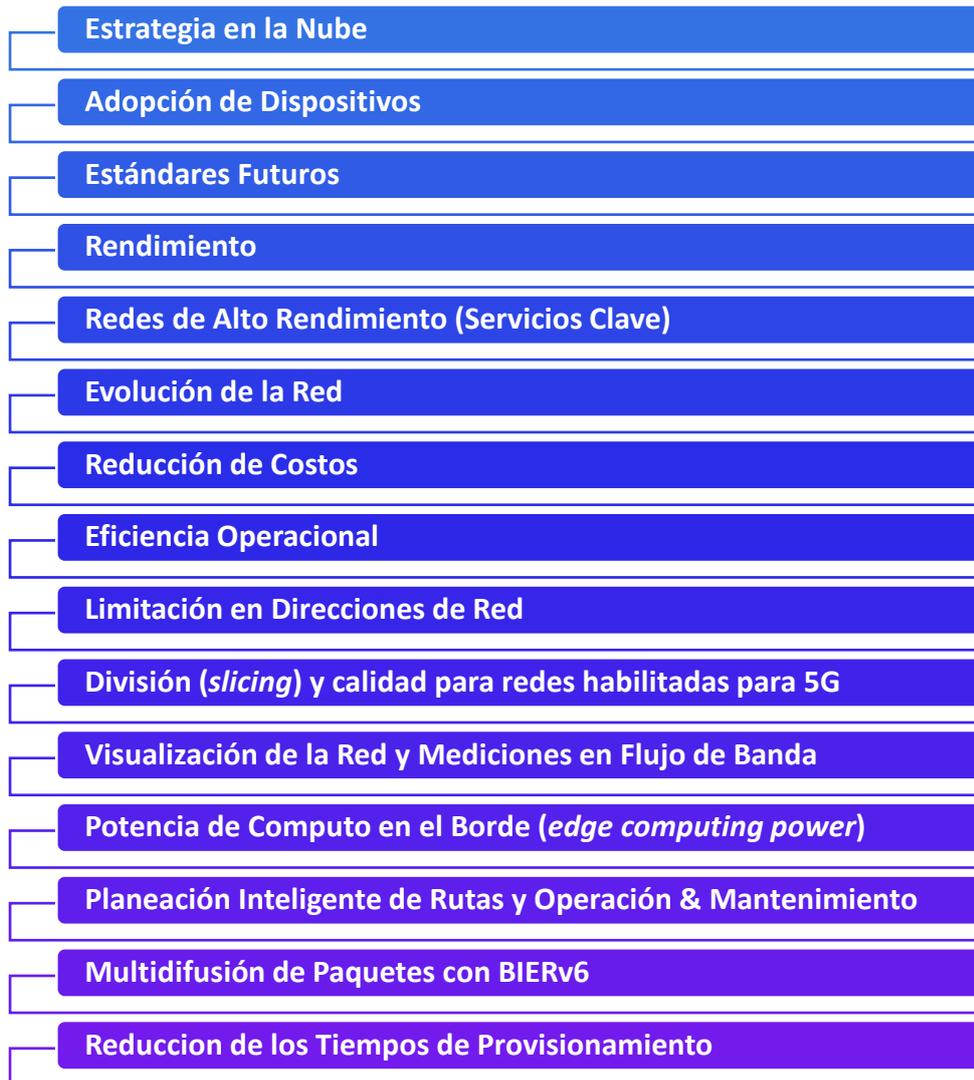
- **Estrategia en la nube:** Solo IPv6 Networking simplifica el proceso de migración a la nube.

-
- **Adopción de dispositivos:** La creciente adopción de dispositivos habilitados para IPv6 exige más direcciones IP.
 - **Estándares futuros:** Los próximos estándares de redes se centrarán en IPv6.
 - **Rendimiento:** La implementación exclusiva de IPv6 reduce la latencia y el tiempo de ida y vuelta (RTT), lo que elimina la necesidad de NAT.
 - **Redes de alto rendimiento:** La *cloudificación* empresarial y de los distintos verticales exige soluciones de red habilitadas para IPv6 para ofrecer un número cada vez mayor de servicios clave.
 - **Evolución de la red:** Gran cantidad de redes y centros de datos de gran tamaño ya han desarrollado sus infraestructuras internas para que sean solo IPv6.
 - **Reducción de costos:** IPv6 ayuda a las empresas a reducir los costos de conexión a la nube pública.
 - **Eficiencia operativa:** Las arquitecturas de doble pila (Dual Stack), aunque inicialmente eran útiles, incurren en altos costos operativos para el mantenimiento a largo plazo de los dispositivos IPv4 e IPv6.
 - **Limitación del espacio de direcciones:** Es oportuno reconsiderar la inclusión de IPv6 en las redes debido a la limitación del espacio de direcciones. IPv6 cambia los atributos de conexión.
 - **Calidad y segmentación de redes habilitadas para 5G (*slicing*):** IPv6 Mejorado proporciona encapsulaciones más sencillas para la segmentación de redes habilitadas para 5G (*slicing*) y mejora la calidad de la red.
 - **Mediciones de flujo en banda y visualización de red:** IPv6 Mejorado utiliza mediciones y visualización de flujo en banda para garantizar un aprovisionamiento rápido, la optimización de rutas y la garantía por flujo con conocimiento basado en aplicaciones en redes autónomas. A diferencia de las tecnologías tradicionales de O&M de red, IFIT es la primera solución completa de detección de calidad de flujo dentro de banda y demarcación de fallas de la industria. IFIT cuenta con alta precisión, rendimiento en tiempo real y visualización puede adaptarse de forma flexible a múltiples escenarios de servicio y promover la O&M de manera inteligente, trabajando con la plataforma de macrodatos y algoritmos inteligentes. Información In Situ de Flujo Telemetría (IFIT) es un protocolo de medición estándar del Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF). Marca los paquetes de servicio reales mediante la inserción de encabezados IFIT, midiendo directamente los indicadores de rendimiento de la red, como el retardo, la tasa de pérdida de paquetes y el jitter. IFIT utiliza tecnología de telemetría para informar datos de medición en tiempo real y muestra los resultados en la interfaz gráfica de usuario (GUI).
 - **Potencia la capacidad de cómputo de borde (Edge computing):** Las capacidades de IPv6 Mejorado admiten potencia informática rápida en el borde y compatibilidad completa con SRv6 para un acceso multinube sin problemas y segmentación rígida basada en FlexE para experiencias de usuario deterministas.

-
- **Planificación inteligente de rutas y O&M:** IPv6 permite la planificación inteligente de rutas o caminos, la visualización y automatización de O&M, la ingeniería de tráfico, la garantía de acuerdos de nivel de servicio (SLA) y la percepción de aplicaciones.
 - **Multidifusión de paquetes con BIERv6:** IPv6 Mejorado permite encapsular SRv6 completo y replicación explícita de índice de bits IPv6 (BIERv6) para una multidifusión de paquetes eficiente.
 - **Reducción de los tiempos de aprovisionamiento:** IPv6 Mejorado reduce los tiempos de aprovisionamiento para alinearse con los requisitos de las aplicaciones en la nube.

Para lograr sinergias de la red inteligente basada en la nube, es fundamental incluir una accesibilidad que incluya una accesibilidad simplificada solo para IPv6 (*IPv6-Only*) de forma proactiva y un reenvío unificado en todos los dominios de la red IP, lo que elimina la necesidad de señalización adicional. Este enfoque transformará las redes centrales y metropolitanas tradicionales centradas en los dispositivos, en redes IP modernas, ofreciendo rendimiento y capacidades superiores.

Figura 4: Beneficios de adoptar IPv6 Mejorado para mejorar la innovación



Fuente: Omdia

Estado de desarrollo global de IPv6

El papel del IPv6 para posibilitar las economías digitales futuras

La economía digital –sustentada por las tecnologías de la información y la comunicación (TIC)– es fundamental para mejorar los resultados económicos y sociales, fomentar la innovación e impulsar el crecimiento de la productividad. Las Naciones Unidas estima que el valor de las ventas de comercio electrónico realizadas por empresas en 43 economías desarrolladas y en desarrollo, que representan tres cuartas partes del PIB mundial, se acercó a los 27 billones de dólares en 2022, frente a los aproximadamente 17 billones de dólares registrados en 2016⁴

Los gobiernos a nivel mundial reconocen la importancia de invertir en conectividad a Internet para aprovechar los beneficios digitales; este reconocimiento ha impulsado el lanzamiento de más de 150 iniciativas nacionales de banda ancha.

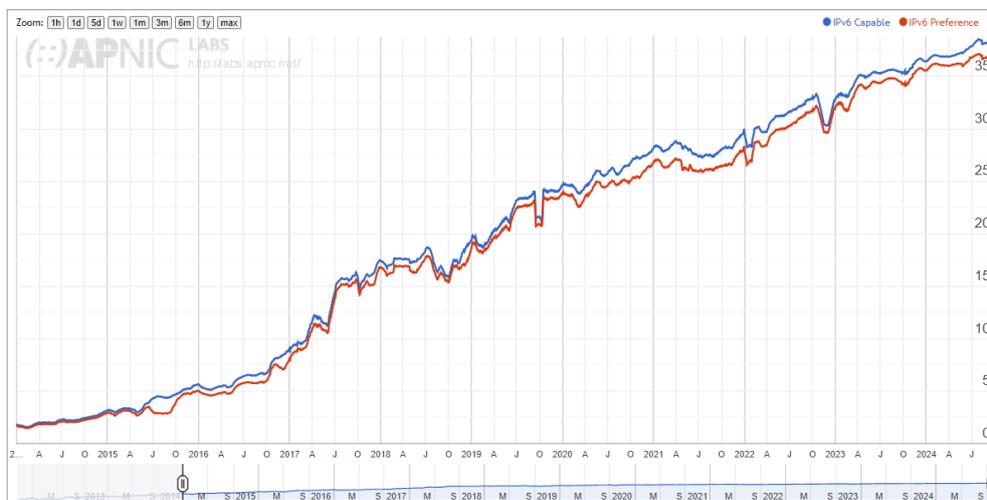
Si bien es factible que no se alcancen a comprender en detalle los aspectos técnicos de IPv6, su función como protocolo habilitador para 5G e IoT es fundamental, algo que se volverá más esencial a medida que proliferen las conexiones de 5G e IoT. Hasta ahora, la traducción de direcciones de red a nivel de operador CGNAT y las soluciones IPv4 e IPv6 de doble pila para abordar el agotamiento de IPv4 han demostrado ser viables, incluso cuando los dispositivos conectados por IP han superado la población mundial y el número de direcciones IPv4 es de 4.300 millones (232 direcciones). Sin embargo, IPv6 demuestra una clara eficiencia y simplicidad en ambos enfoques y, por lo tanto, resulta menos costoso de administrar y más fácil de proteger. Eventualmente, se alcanzará un punto de inflexión en el que la implementación de IPv6 se convertirá en la única opción viable.

El impulso mundial de los últimos años es evidente, especialmente si se examina el aumento constante de usuarios con capacidad IPv6 desde 2017. Según APNIC, una fuente ampliamente referenciada en el sector y la base de muchos índices compuestos, la adopción global de IPv6 ha superado el 36% a finales de 2023, y en agosto de 2024 ya era del 38%.

⁴ <https://unctad.org/publication/digital-economy-report-2024>

Figura 5: Uso de IPv6 en todo el mundo a septiembre de 2024

Use of IPv6 for World (XA)



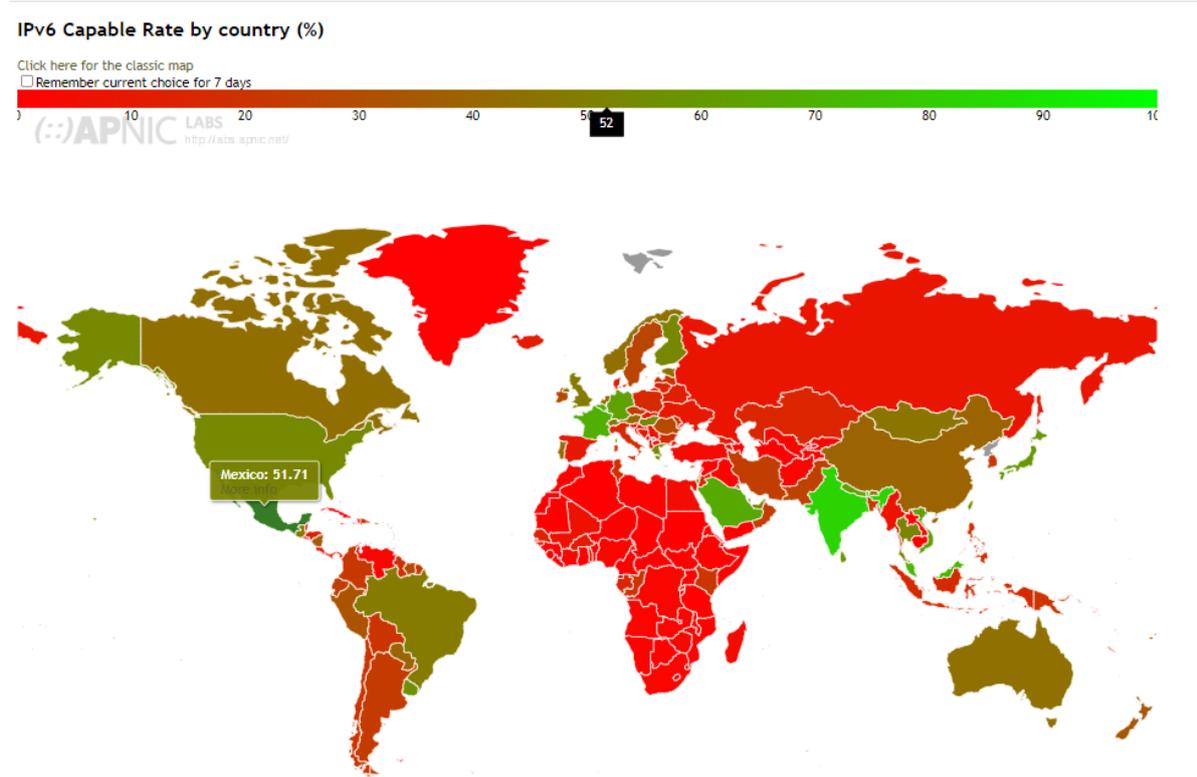
Fuente: APNIC ([HTTPS: datos sobre estadísticas.labs.apnic.net/ipv6/XA](https://datos.apnic.net/ipv6/XA))

- **Capacidad IPv6 (IPv6 Capable):** El sistema puede utilizar IPv6 (el sistema está equipado para manejar direcciones IPv6, enrutamiento y transmisión de datos utilizando protocolos IPv6, pero aún puede usar IPv4 si está disponible o si la red no ha pasado completamente a IPv6).
- **Preferencia IPv6 (IPv6 Preference):** El sistema dará prioridad a las conexiones IPv6 sobre IPv4 cuando ambas estén disponibles. Si la red o el dispositivo está configurado con una preferencia IPv6, se dará prioridad a IPv6 sobre IPv4 cuando ambos protocolos estén disponibles.

El progreso de la adopción del IPv6 en todo el mundo es desigual y el estatus de un país depende de numerosos factores. Las medidas adoptadas en el pasado por los diferentes actores, guiadas por sus prioridades, pueden explicar parte de la situación de cada país. Sin embargo, a menudo existe una correlación entre el desarrollo económico de un país y su nivel de adopción del IPv6, por lo que en general, los países más desarrollados presentan tasas de adopción más altas.

APNIC utiliza el porcentaje de usuarios compatibles con IPv6 como una métrica sencilla para medir los niveles de adopción de IPv6 en cada país y región. El siguiente mapa ofrece una visión general de la adopción mundial. En general, la adopción mundial es desigual, con América del Norte y Europa Occidental liderando la clasificación, aunque hay países pioneros en todos los continentes.

Figura 6: Usuarios habilitados para IPv6 por mapa de países a septiembre de 2024 (%)



Fuente: APNIC ([HTTPS://datos.datos.apnic.net/ipv6](https://datos.datos.apnic.net/ipv6))

Según el mapa, los países con un PIB más alto suelen presentar una adopción del IPv6 más avanzada, aunque existen excepciones significativas. Por ejemplo, España, Italia y Dinamarca tienen tasas de adopción relativamente bajas en comparación con sus vecinos de Europa occidental, que tienen tasas mucho más altas. Por el contrario, la India muestra tasas de adopción excepcionalmente altas, a pesar de ser un país en desarrollo. A nivel regional, Asia meridional lidera las tasas de adopción, seguida de cerca por Europa occidental y América del Norte. Los países de África y Asia central se encuentran en las tasas de adopción más bajas.

Concretamente, India (80.8%) y Malasia (70.4%) están a la vanguardia de la adopción del IPv6 a nivel de países. Entre los países de la OCDE, los líderes son Francia (67.9%), Bélgica (66.6%), Alemania (60.8%) y Japón (58%).

Ya se pueden observar implementaciones comerciales de IPv6 entre operadores y empresas en las regiones de Asia Pacífico, Europa y África. Estas redes IP de próxima generación están acelerando la entrega de beneficios en varios casos de uso "inteligentes" de la Industria 4.0. Los gobiernos con visión de futuro, en colaboración con sus socios de la industria de comunicaciones, en países como China, Bélgica, India, Arabia Saudita y Emiratos Árabes Unidos (EAU), reconocen el valor de IPv6 y las tecnologías mejoradas IPv6 para impulsar la innovación y el crecimiento de la industria 4.0. Estos

gobiernos invierten activamente y establecen políticas nacionales para acelerar la transición al IPv6. La evidencia sugiere que la participación del gobierno influye significativamente en la adopción del mercado, lo que arrastra al mercado cuando se involucra.

Por lo tanto, los gobiernos tienen un papel importante a la hora de acelerar el momento de la migración IPv6 e IPv6 mejorada y, como resultado, ayudar a sentar una base sólida para 5G, nube, IoT, IA y otros pilares de la economía digital. Esta participación es esencial para aprovechar las oportunidades económicas y sociales que ofrece la economía digital del futuro.

La urgencia de adoptar IPv6 ha ido creciendo a nivel mundial, lo que ha dado lugar a una aceleración de las tasas de implementación. Sin embargo, la adopción de IPv6 todavía no es omnipresente. Los países líderes en esta transición, entre ellos India, Suiza, Bélgica, Malasia, Alemania, Grecia, Japón, Vietnam y Estados Unidos, han alcanzado tasas de adopción superiores al 40%. Estos países han logrado avances significativos en la migración al IPv6, lo que demuestra la viabilidad y los beneficios de esta transición.

Los Estados Unidos y China lideran la política digital de IPv6, junto con India, Arabia Saudí, Emiratos Árabes Unidos, Alemania y Bélgica. Estos países han reconocido el papel fundamental del IPv6 en la preparación de su infraestructura digital para el futuro y están aplicando políticas para facilitar una transición sin problemas. Más adelante, en la siguiente sección de este libro blanco, se analizan perfiles detallados de sus esfuerzos y éxitos en la adopción de IPv6.

En América Latina, la adopción de IPv6 está por encima del promedio, alcanzando aproximadamente el 33%, lo que significa que 1 de cada 3 paquetes ahora utiliza IPv6. Uruguay lidera con una tasa de adopción con el 57.5%, seguido de cerca por México con 51,6%. Sin embargo, existe una disparidad significativa en cuanto a la adopción en toda la región. Por ejemplo, Chile, un país avanzado en la adopción digital, tiene solo un 20% de uso de IPv6. Brasil muestra un sólido progreso con 48%, Paraguay 39% y Perú 33% de adopción de IPv6, mientras que países como Argentina, Ecuador y Bolivia están rezagados, con tasas de adopción por debajo del 25%. A pesar de los grandes avances logrados en algunos países, como Uruguay, México y Brasil, aún existe una brecha considerable en la adopción del IPv6 en Centroamérica y el Caribe. El camino hacia adelante no solo implica activar IPv6, sino tomar decisiones estratégicas para cumplir con los requisitos futuros de IP de la red y admitir nuevas aplicaciones

Para lograr el éxito de Internet a largo plazo, el despliegue completo de IPv6 es una cuestión de "cuándo", no de "si debe hacerse", pero el desafío es que hoy en día es imposible predecir "cuándo" se hará con precisión. Sin embargo, mientras tanto, los gobiernos con visión de futuro y sus socios de la industria de la comunicación, instados por organizaciones mundiales de comunicación, como el IAB, el ITU-T, el ETSI y el IPv6 Forum, están acelerando la adopción del IPv6 ahora para asegurar la base de sus economías digitales y la Cuarta Revolución Industrial.

Liderazgo político y éxitos en la adopción de IPv6:

En esta sección se analizan varios países líderes en la adopción de IPv6 e IPv6 Mejorado, destacando la importancia de las políticas impulsadas por los gobiernos para acelerar la adopción de IPv6 y asegurar las economías digitales futuras.

Unión Europea

Durante la última década, la Unión Europea ha promovido activamente la adopción del IPv6 entre los Estados Miembros, en particular a través del proyecto GEN6. Esta iniciativa proporcionó directrices para la planificación del IPv6 y especificó los pasos de transición para los países. Aunque GEN6 concluyó en 2016 con resultados dispares, logró implementar pilotos nacionales de IPv6 en Alemania, Turquía, Grecia, Eslovenia, España y Luxemburgo. Desde entonces, la promoción del IPv6 se ha trasladado a los esfuerzos de cada país, combinando políticas impulsadas por el gobierno, modelos híbridos de asociación público-privada y adopción impulsada por el mercado.⁵

A nivel de organización de estándares, el Grupo de Especificaciones Industriales (ISG) sobre Innovaciones Mejoradas (IPE) de ETSI tiene como objetivo acelerar la adopción de IPv6 e impulsar las innovaciones basadas en IPv6. Este grupo identifica las funcionalidades IPv6 necesarias para mejorar los casos de uso en todos los dominios de tecnología emergente, incluidos 5G, IoT industrial, IA y servicios híbridos multinube. Más de 60 organizaciones participan en ETSI ISG IPE, entre ellas operadores como Telefónica, POST, Turkcell y Etisalat, así como organismos reguladores como ARCEP (Francia) y Ofcom (Reino Unido), y proveedores importantes como Cisco, HPE, Huawei y muchas organizaciones industriales y académicas verticales de todo el mundo. La labor anterior de IPE continúa bajo la dirección del Foro IPv6 dentro del IPv6 Mejorado Council, que desempeña un papel esencial en el intercambio de experiencias en el despliegue del IPv6 y las innovaciones mejoradas. Su objetivo general es acelerar la adopción de IPv6 por parte de más usuarios, terminales, redes y contenidos, permitiendo que IP conecte todo. El número de miembros del Consejo ha ido aumentando.

La Unión Europea realiza un seguimiento trimestral de la adopción del IPv6 a nivel europeo, teniendo en cuenta que "el despliegue de IPv6 es fundamental para garantizar la escalabilidad, estabilidad y seguridad de Internet". Esta iniciativa forma parte del sitio web de seguimiento del despliegue de normas de Internet de la UE que realiza un seguimiento de la información más reciente sobre el despliegue en la UE de algunas de las normas de Internet más importantes. Mismas que son clave para aumentar la seguridad de la experiencia en línea y apoyar la evolución y la resistencia de Internet (disponible en: [HTTPS: http://ec.europa.eu/normas-internet/ipv6.html](https://ec.europa.eu/normas-internet/ipv6.html)).

Entre los países individuales, Bélgica destaca como un caso de éxito del IPv6, con políticas gubernamentales que incentivan la adopción por parte de la industria privada y facilitan asociaciones híbridas entre el sector público y el privado. En 2012, el Ministerio de Economía belga estableció una política para el despliegue del IPv6 en las oficinas federales y creó un Consejo del IPv6 que sigue activo.

El gobierno alemán definió una hoja de ruta para IPv6 en 2009, estableciendo políticas para que las oficinas públicas sean compatibles con IPv6 y proporcionando directrices para la migración. Aunque la hoja de ruta no exigía la transición al IPv6 para empresas o proveedores de servicios, Alemania sigue considerándose un caso de éxito en la adopción del IPv6.

⁵ <http://www.gen6.eu/home>

Francia ha sido proactiva a la hora de reconocer la importancia del IPv6. La Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes (ARCEP) destaca que la falta de direcciones IPv4 obstaculiza el desarrollo de nuevas industrias y compromete los servicios de Internet, incluidos los sistemas de control de hogares inteligentes y los juegos en red. Lo anterior crea una barrera considerable y significativa para los nuevos participantes en las telecomunicaciones, lo que puede afectar negativamente a la competitividad nacional. El gobierno francés ha implementado varias medidas regulatorias para promover el despliegue a gran escala del IPv6. Estas iniciativas pueden servir como referencias valiosas:

- **Barómetro anual de IPv6:** Desde 2016, ARCEP publica anualmente el informe de progreso de IPv6, en el que se destaca el estado del despliegue de IPv6 en Francia y se ofrecen recomendaciones para acelerar la transición a IPv6.
- **Organización de promoción de IPv6:** En marzo de 2019, Francia creó el grupo de trabajo sobre IPv6 para desarrollar una hoja de ruta de migración para IPv6 y supervisar el progreso de su implementación.
- **Integración del espectro IPv6 y 5G:** En diciembre de 2020, ARCEP introdujo una política para asignar el espectro 5G de 3,4 a 3,8 GHz supeditado al uso extensivo de IPv6, exigiendo que las redes 5G de los operadores sean compatibles con IPv6.
- **Implementación empresarial de IPv6:** En marzo de 2022, el grupo de trabajo francés sobre IPv6 publicó el libro blanco sobre la implementación empresarial de IPv6, que ofrece orientación a las empresas sobre las rutas de migración y las mejores prácticas para IPv6.⁶
- **Red de monitoreo IPv6:** En junio de 2023, ARCEP lanzó la red de monitoreo global IPv6, convirtiendo a Francia en el primer país europeo en lanzar una red de este tipo. Esta red clasifica a los 100 países principales según el número de usuarios de Internet y realiza un seguimiento del progreso de la implementación del IPv6, fomentando la competencia mundial y acelerando la adopción del IPv6 en todo el mundo.⁷
- El estado de Internet en Francia, Revisión y perspectivas sobre las actividades de ARCEP publicadas en junio de 2024.⁸

⁶ <https://lafibre.info/images/ipv6/guide-entreprises-how-to-deploy-IPv6.pdf>

⁷ <https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-chiffrees/barometre-du-numerique/le-barometre-du-numerique-edition-2023.html>

⁸ https://en.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/ARCEP-RA2024-TOME_3-UK-Norme_A.pdf

Arabia Saudita

Oriente Medio se está convirtiendo en una de las fuerzas impulsoras de la promoción gubernamental del IPv6. La Comisión de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CITC) de Arabia Saudita formó el Grupo de Trabajo sobre IPv6 en 2008 para reunir a las partes interesadas de los sectores público y privado y fomentar el despliegue de IPv6 en todo el país. Este grupo de trabajo coordina talleres y actividades y colabora con el Foro IPv6 y otros grupos de trabajo nacionales sobre IPv6.

La adopción mejorada de IPv6 está creciendo en Arabia Saudí y en Oriente Medio con innovaciones como SRv6 que permiten el encadenamiento de servicios requerido para 5G. Zain es uno de los principales ejemplos de innovación mejorada IPv6 por parte del operador en la región.

Estados Unidos

La política estadounidense deja en gran medida la transición IPv6 a las fuerzas naturales del mercado, pero el gobierno ha adoptado políticas para guiar a las agencias federales del IPv4 al IPv6. La Oficina de Administración y Presupuesto de los Estados Unidos (OMB) comenzó a planificar la transición IPv6 en 2005, aunque la transición del sector fue más lenta de lo previsto. Sin embargo, el ritmo se ha incrementado en los últimos cinco años, lo que ha llevado a la OMB a emitir nuevos requisitos en noviembre de 2020. Las agencias federales deben garantizar que al menos el 80% de los activos habilitados para IP en las redes federales sean solo IPv6 para fines del año fiscal 2025. Esto se apoya mediante el desarrollo de un plan de implementación de IPv6 y la realización de al menos una prueba piloto de un sistema operativo solo IPv6. El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) realiza un seguimiento de la adopción de IPv6 por parte de agencias gubernamentales, informando que, en agosto de 2020, el 85% de los servicios DNS del gobierno de EE. UU., el 56% de los servicios web y el 28% de los servicios de correo soportaban IPv6 de forma nativa.⁹

India

El gobierno indio ha sido uno de los más agresivos a la hora de imponer la adopción del IPv6 a todas las partes interesadas en Internet, incluidas entidades gubernamentales y privadas. El Departamento de Telecomunicaciones (DoT) publicó la "Hoja de ruta nacional para la implementación de IPv6 (v-II)" en marzo de 2013, con pautas de transición detalladas para agencias gubernamentales, empresas que prestan servicios y consumidores, proveedores de centros de datos/cloud, proveedores de contenido y aplicaciones y fabricantes de equipos. Los plazos de transición se revisaron en 2016 y, recientemente, en febrero de 2020, con recomendaciones para completar la transición al IPv6 antes de marzo de 2020 y poder garantizar que todas las conexiones y equipos de los nuevos clientes estén listos para IPv6 antes de diciembre de 2020. En el aviso se recomendaba que todas las agencias gubernamentales completaran la transición a IPv6 antes de marzo de 2020, que todas las nuevas conexiones alámbricas de clientes minoristas tuvieran capacidad IPv6 antes de diciembre de 2020 y que los proveedores de servicios actualizaran o reemplazaran los CPE para que estuvieran preparados para IPv6 antes de

⁹ <https://www.nist.gov/news-events/news/2020/12/nist-updates-usgv6-program-support-new-federal-ipv6-initiatives>

diciembre de 2020. Se aprobó una extensión, estableciendo que todas las organizaciones gubernamentales deben completar la migración IPv6 antes del 30 de junio de 2022 y para los proveedores de servicios de Internet, el plazo se amplió hasta diciembre de 2022. Con un buen progreso en la transición IPv6 en empresas y en las redes de servicios móviles, no se realizaron cambios en los plazos. Además, destacando un gran progreso, la transición entre los proveedores de contenido y aplicaciones y los proveedores de informática en la nube/centros de datos quedó en manos de las fuerzas del mercado. El enfoque dirigido por el gobierno de la India ha demostrado ser exitoso.^{10,11}

China

En cooperación con operadores de redes, proveedores y académicos chinos, el gobierno chino ha estado promoviendo la adopción del IPv6 a nivel nacional durante muchos años. China promueve la adopción del IPv6 a nivel nacional a través de proyectos como el proyecto China de Internet de próxima generación y la Red China de Educación e Investigación (CERNET). En noviembre de 2017, el gobierno chino emitió un "Plan de acción para el despliegue a gran escala de IPv6", con el objetivo de que todos los usuarios de Internet estén en IPv6 para 2025, con un objetivo del 50% (500 millones) para finales de 2020. A pesar de liderar la adopción de 5G con 995 millones de usuarios a finales de 2023, China se queda atrás en la adopción de IPv6. Como parte de la innovación de la estrategia IP del operador, la tracción mejorada de IPv6 en China está creciendo rápidamente. El motor de esta adopción predominante se debe a la transformación digital basada en 5G y en la nube de las empresas verticales y los casos de uso masivos de IoT.

Brasil

En la actualidad, Brasil tiene la mitad de la tasa de penetración nativa IPv6.

En Brasil, algunas políticas fueron definidas a partir de los esfuerzos del WG-IPv6, un Grupo de Trabajo para promover la implementación del IPv6 en las redes de proveedores de telecomunicaciones creado por Anatel en 2014 a través de la Ordenanza N° 152. El grupo coordinado por Anatel, contó con la participación de los principales proveedores de telecomunicaciones de Brasil y NIC.br para discutir las actividades relacionadas con la adopción del nuevo protocolo en las redes brasileñas y la solución temporal para el período de transición entre IPv4 e IPv6. En la figura 7 se detallan algunas decisiones.

¹⁰ https://dot.gov.in/sites/default/files/2020_02_12%20IPv6%20Timelines.pdf

¹¹ <https://dot.gov.in/sites/default/files/Revision%20in%20IPv6%20Transition%20timelines.pdf>

Figura 7: Disponibilidad de IPv6 y solución de transición en Brasil

Solución de Transición – CGNAT-44

- Disponibilidad de CGNAT-44:** Los proveedores que han agotado sus recursos de IPv4 deben implementar CGNAT-44 como una solución paliativa.
- **Incompatibilidades con IPv4 compartido:** Los clientes que no desean o no pueden utilizar IPv4 compartido pueden recibir una dirección IP pública dinámica sin costo o una IP fija de mayor costo, si está disponible.
- Compromiso de la privacidad telemática con CGNAT-44:** Los proveedores deben proporcionar una identificación única del usuario. Por lo tanto, deben ser capaces de informar el puerto de origen de las conexiones, además de la dirección IPv4 de origen y la hora de acceso (junto con la zona horaria correspondiente)

Puntos principales de intercambio de tráfico de interconexión e interconexión;

Disponibilidad de IPv6

- Peering/Tránsito:** Los proveedores deben ofrecer Peering/Tránsito en IPv6 en sus principales puntos de interconexión e intercambio de tráfico de interconexión.
- Usuario final:** Los proveedores deben ofrecer direcciones públicas IPv6 a nuevos usuarios y usuarios existentes que las soliciten y, en ubicaciones donde no haya oferta de IPv6, se debe asignar al usuario, de manera dinámica o fija, una dirección pública IPv4 no compartida.

En ese momento, el grupo también trabajó en la definición de requisitos técnicos para evaluar la conformidad del protocolo IPv6 en productos de telecomunicaciones. Recientemente, Anatel actualizó estos requisitos mediante el Acta N.º 7971, del 22 de junio de 2023. Ahora están basados en las siguientes referencias normativas:

- Terminales fijos (xDSL, xPON y DOCSIS):** RFC 7084, IPv6 READY CE, IPv6 READY Core
- Terminales móviles (3GPP):** RFC 8200, ETSI TS 102 514, 3GPP TS 36.523-1

Para impulsar el desarrollo de IPv6/IPv6 Mejorado en Brasil se propusieron objetivos a corto (2024-2025), medio (2026-2027) y largo plazo (2028-2030). De esta manera, es posible fortalecer la gestión de los principales indicadores y recursos IPv6, desarrollar gradualmente el protocolo y mejorar los recursos digitales nacionales y la ciberseguridad. Esta propuesta se presenta a continuación:

Tabla 1 - Sugerencias de objetivos para el desarrollo del IPv6 en Brasil

Indicador	Contenido	Primera etapa	Segunda etapa	Tercera etapa
Porcentaje de usuarios con IPv6	Mide el porcentaje de usuarios finales que acceden a Internet a través de IPv6, incluyendo usuarios de banda ancha móvil y fija	50%	60%	70%
Tasa de soporte de IPv6 en sitios web gubernamentales	Mide el acceso directo a sitios web gubernamentales que soportan IPv6	20%	30%	50%
Tasa de soporte de IPv6 en sitios comerciales principales y aplicaciones de Internet móvil	Los 500 principales sitios y aplicaciones soportan IPv6	35%	40%	45%
Tasa de soporte de IPv6 en equipos CPE empresariales	Los dispositivos de acceso CPE empresariales soportan IPv6	30%	50%	70%
Tasa de habilitación de IPv6 en dispositivos de red de operadores	Porcentaje de la capacidad de IPv6 habilitada en dispositivos de red de operadores, incluyendo el protocolo IPv6, SRv6, segmentación y iFIT	20%	30%	40%
Porcentaje de tecnologías IPv6 avanzadas usadas en redes privadas	Proporción de tecnologías IPv6 avanzadas (SRv6 o segmentación de red) utilizadas por cada red dedicada	5%	10%	15%

Fuente: Libro blanco sobre IPv6 en Brasil (2023), Anatel

Los objetivos propuestos para el porcentaje de usuarios de IPv6 se basan en una predicción conservadora de un aumento del 5% cada año, como se ha visto en Brasil durante los últimos 10 años.

En 2023, Anatel recopiló datos sobre los usuarios con IPv6 activo y el volumen de datos utilizando el nuevo protocolo en algunas redes de operadores en Brasil. El resultado se presenta en la Tabla 2. Los operadores también informaron que los principales proveedores de contenido que utilizan sus redes ya trabajan en el esquema de Pila Doble (Dual Stack), lo que significa que su contenido está disponible en Internet en IPv4 e IPv6.

Tabla 2: Estadísticas sobre IPv6 en redes de banda ancha fijas y móviles en Brasil

Operador	Banda Ancha Fija		Banda Ancha Móvil	
	Usuarios Dual Stack	Volumen de Datos IPv6	Usuarios Dual Stack	Volumen de Datos IPv6
Claro	92%	31%	78%	54%
OI	100%	30%	-	-
TIM	N/A	1%	90.6%	66.4%
VIVO	100%	40%	62%	89%
SERCOMTEL	-	11%	-	-
LIGGA	100%	27%	-	-
Horizons	69%	10%	-	-
Nova Fibra	3%	3%	-	-

Fuente: Libro blanco sobre IPv6 en Brasil (2023), Anatel

Experiencia internacional

Sobre la base de las experiencias internacionales mencionadas, los reguladores pueden aplicar mecanismos para fomentar o hacer cumplir, cuando sea necesario, la adopción del IPv6.

A continuación, se presentan algunos ejemplos:

- Rankings y concursos para alentar a los operadores de telecomunicaciones/empresas a adoptar nuevas tecnologías.
- Realizar un estudio y perfilar un plan de transición para mejorar la infraestructura de Internet que ayude a posicionar a México como un Hub de Conectividad en la región.

Desarrollo y sugerencia del plan de implementación del IPv6 en México

Estado de desarrollo y análisis de IPv6 en México

México reconoce la importancia de la transición a IPv6 para soportar la creciente demanda de conectividad a Internet impulsada por IoT, 5G y la economía digital. La adopción del IPv6 en México ha avanzado, sin embargo, sigue siendo relativamente más lenta en comparación con otros países.

Tasa de adopción: Según informes recientes, la tasa de adopción del IPv6 en México aún está evolucionando. Con base en las estadísticas de adopción de IPv6 de APNIC, México tenía una tasa de adopción de alrededor del 51.6% en septiembre de 2024, cifra inferior a la de líderes mundiales como India, Francia, Bélgica y Estados Unidos, que tienen tasas de adopción superiores al 55%.

En la lista mundial, México ocupa el puesto 20 y en Latinoamérica ocupa el segundo lugar en cuanto a adopción de IPv6, después de Uruguay, con un 57.5% de direcciones nativas IPv6.

Tabla 3: Ranking de la tasa de capacidad IPv6 por país (a septiembre de 2024)

#	CC	País	Capacidad IPv6	Preferencia IPv6	Muestras
1	EN	India , Sur de Asia , Asia	80.88%	78.38%	136,234,911
2	MI	Malasia , Asia Sudoriental , Asia	70.48%	67.68%	6,227,665
3	FR	Francia , Europa occidental , Europa	67.89%	65.97%	12,287,016
4	SER	Bélgica , Europa occidental , Europa	66.61%	64.63%	1,879,702
5	SA	Arabia Saudita , Asia occidental , Asia	65.49%	62.66%	6,395,240
6	VN	Vietnam , Sudeste asiático , Asia	62.02%	58.24%	8,909,066
7	DE	Alemania , Europa occidental , Europa	60.78%	59.40%	7,785,554

8	TW	Taiwán , Asia Oriental , Asia	59.98%	50.52%	5,951,347
9	NP	Nepal , Sur de Asia , Asia	59.66%	58.26%	2,505,816
10	LK	Sri Lanka , Sur de Asia , Asia	59.59%	58.02%	1,361,608
11	JP	Japón , Asia Oriental , Asia	57.93%	53.40%	29,901,181
12	UY	Uruguay , América del Sur , América	57.54%	56.17%	501,778
13	IL	Israel , Asia occidental , Asia	53.95%	49.62%	2,352,089
14	Estados Unidos	Estados Unidos de América , Norteamérica , América	53.89%	51.66%	74,441,247
15	GR	Grecia , Sur de Europa , Europa	52.71%	51.25%	1,685,420
16	EA	Emiratos Árabes Unidos , Asia occidental , Asia	52.40%	50.36%	627,111
17	HU	Hungría , Europa del Este , Europa	52.21%	50.58%	1,938,613
18	PR	Puerto Rico , Caribe , América	51.87%	49.96%	709,798
19	FI	Finlandia , Norte de Europa , Europa	51.84%	50.65%	943,326
20	MX	México , Norte América, América	51.57%	50.18%	21,550,532
21	AX	Islas Aland , Norte de Europa , Europa	50.94%	49.25%	5,785
22	TH	Tailandia , Asia Sudoriental , Asia	49.40%	47.78%	8,150,163
23	BR	Brasil , América del Sur , América	48.42%	46.97%	22,792,608
24	GB	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte , Norte de Europa , Europa	47.64%	46.23%	12,474,345

25	GT	Guatemala , América Central , América	46.20%	44.83%	576,233
26	MN	Mongolia , Asia Oriental , Asia	45.54%	43.24%	616,719
27	EE	Estonia , Norte de Europa , Europa	43.60%	42.68%	235,928
28	UA	Australia , Australia y Nueva Zelanda , Oceanía	43.22%	39.51%	6,808,163
29	CH	Suiza , Europa occidental , Europa	42.99%	41.68%	440,468
30	CA	Canadá , Norteamérica , América	42.72%	41.13%	13,258,325

[HTTPS:datos:datos.apnic.net/ipv6](https://datos.apnic.net/ipv6)

Figura 8: Valores más recientes de penetración nativa IPv6 en América Latina a septiembre de 2024



Fuente: LACNIC

[HTTPS:datos:datos.apnic.net/ipv6](https://datos.datos.apnic.net/ipv6)

Dados los numerosos beneficios del IPv6 y el IPv6 Mejorado, que se presentaron ampliamente en secciones anteriores, muchos países han incorporado planes para desarrollarlos en sus estrategias de transformación digital y también han definido sistemas de seguimiento e informes para medir el progreso de las actividades. Los planes de desarrollo para IPv6 e IPv6 Mejorado varían de un país a otro, pero como práctica recomendada adoptada por varios países, suelen incluir objetivos sugeridos para los KPI de diferentes categorías.

En el caso de México, así como en otros países que ya cuentan con una adopción significativa de IPv6, debe prestarse atención a la adopción de funcionalidades mejoradas de IPv6. Estos factores pueden ser impulsores para los actores del sector que han retrasado la adopción de IPv6. Para aquellos que ya han adoptado IPv6, IPv6 Mejorado puede ser una forma de mejorar los servicios y la competitividad tanto de los operadores como de las empresas. Como mejores prácticas adoptadas por otros países líderes en la adopción de IPv6, también es común incluir algunos KPI para la infraestructura en la que se utilizará IPv6 e IPv6 Mejorado. Esto se debe a que el desarrollo de IPv6 es solo una dimensión del

desarrollo general de la infraestructura integral de conectividad. En cuanto a la infraestructura, se utilizan las tecnologías clave de Net5.5G como Indicadores Clave de Desempeño (KPIs). Tal como se presentará en el siguiente capítulo, definido por WBBA (World Broadband Association), Net5.5G es el consenso de la industria para la red de la era de la IA.

Tabla 4: Sugerencias de objetivos para IPv6 en México

Tipo	Nombre	Objetivo para 2027	Objetivo para 2030
Implementación de IPv6	Porcentaje de usuarios habilitados para IPv6	60%	70%
	Relación de tráfico IPv6 de red móvil	60%	80%
	Relación de tráfico IPv6 de red fija	50%	65%
	Proporción de compatibilidad IPv6 de puntos de acceso inalámbricos domésticos	55%	70%
	Tasa de soporte IPv6 de los principales sitios web y aplicaciones móviles	50%	65%
Implementación mejorada de IPv6	Tasa de implementación de nodos SRv6	40%	50%
	Tasa de implementación de nodos de segmentación de red IPv6	30%	40%
	Relación entre líneas privadas IPv6 y líneas privadas totales	20%	40%
	El número de Campus que soportan IPv6 Slicing	5	10
	Número de proyectos de innovación mejorada IPv6	2	10
Infraestructura Net5.5G basada en IPv6 mejorada	Tasa de implementación de puertos DCN/troncales 400GE / 800GE	40%	60%
	Proporción de puntos de acceso Wi-Fi empresarial 7 o más	45%	80%

Las sugerencias se basan en los fundamentos y supuestos abajo detallados, y sirven de guía para definir planes de acción específicos. Se recomienda como buena práctica el seguimiento de la situación y también la realización de ajustes basados en el progreso y las prioridades anuales.

Para el despliegue de IPv6, México ya tuvo un incremento anual del 5 al 10% en la adopción de IPv6 en los últimos años. Teniendo en cuenta que la adopción ya supera el 50% y que el ritmo de aumento será menor a medida que tengamos cifras más altas de adopción, los objetivos sugeridos para 2027 y 2030 son cifras conservadoras basadas en estimaciones del 3 al 5% anual. En cuanto al tráfico, según datos del tercer trimestre de 2024 de APNIC, el IPv6 en la red de acceso móvil ya ha alcanzado el 50% y el 45% en la red de acceso fijo, mientras que los sitios web y las aplicaciones móviles compatibles con IPv6 ya han alcanzado el 48% en el tercer trimestre de 2024, según w3techs. Referente a las tecnologías clave de IPv6 Mejorado y compatible con la infraestructura, Wi-Fi 7 y slicing, estas son tecnologías nuevas, pero ya son estándar y SRv6 cuenta con un estado más maduro. En el caso de las nuevas tecnologías, podemos considerar su adopción inicial como insignificante y cercana a cero, pero

la mejor práctica es estimar un aumento de su adopción del 10% anual durante los cuatro años iniciales y del 15% durante los años siguientes. En el caso del SRv6, es posible estimar un punto de partida del 10% y también un incremento anual del 10-15%. Según las estimaciones de Dell'Oro, la cuota de mercado global de Wi-Fi 7 representará el 45% en 2027. Además, se espera que Wi-Fi 8 esté disponible para 2028. La previsión de cuota de mercado para Wi-Fi 7 y 8 combinadas alcanzará el 90% en 2030, junto con la eliminación gradual de versiones anteriores. También según las previsiones de Dell'Oro, la cuota de mercado mundial de 400GE / 800GE representará el 40% en 2027, con puertos de mayor capacidad ganando terreno a medida que nos acercamos a 2030.¹²

Para alcanzar los objetivos propuestos, se pueden considerar las siguientes acciones:

- Un buen sistema de monitoreo es esencial para conocer el estado y progreso de los KPI. Puede ser un informe muy sofisticado basado en datos casi en tiempo real, pero, en muchos casos, bastaría con un informe anual con datos facilitados por los distintos agentes del sector para tener una buena idea de los progresos realizados.
- Con el fin de fomentar la adopción de IPv6, otro buen enfoque es aumentar el contenido al que se puede acceder a través de IPv6. Algunas empresas de almacenamiento de datos ya están fomentando el uso de IPv6 asignando direcciones IPv6 gratuitamente y cobrando por direcciones IPv4. Se pueden utilizar métodos similares para alentar o desalentar de manera más general en políticas, reglamentos y subvenciones flexibles.
- Aunque casi todos los terminales de usuario y gateways residenciales o empresariales ya cuentan con soporte para IPv6, aún existen equipos legados que no lo tienen. La consideración de generar una lista corta de tipos de terminales o equipos que deben soportar IPv6 es una forma eficaz de eliminar gradualmente los equipos legados.
- En el caso de las tecnologías, especialmente las utilizadas por los operadores y las empresas de telecomunicaciones, una forma eficaz y aún no aplicada de fomentar su adopción es generar clasificaciones de los mejores adoptantes y organizar concursos industriales para premiar proyectos importantes.
- El intercambio de experiencias es una forma muy eficaz de difundir conocimientos sobre nuevas tecnologías y mejores prácticas. Fomentar la realización de cumbres, talleres y conferencias industriales con la participación de diferentes actores del sector para compartir experiencias.
- Las tecnologías de la comunicación, especialmente Internet, evolucionan a un ritmo muy rápido. La prospección de nuevas tecnologías y la consideración de incluirlas en las estrategias de desarrollo, como las estrategias nacionales a largo plazo, a mediano plazo y programas y planes específicos deben considerarse como un ejercicio de rutina.

¹² <https://www.delloro.com/enterprise-class-wireless-lan-the-market-will-shift-in-2024/>
<https://www.delloro.com/exploring-the-data-center-switch-and-ai-networks-markets-landscape-in-2024/>

Casos de uso de IPv6 Mejorado

Con IPv6 como base de la red IP de próxima generación, muchas innovaciones pueden superponerse. Aunque la industria aún se encuentra en sus primeras etapas, grupos industriales como el IETF, el Foro IPv6, ETSI, operadores y proveedores de equipos están definiendo activamente áreas en las que IPv6 puede agregar un valor significativo.

Los proyectos de ciudades inteligentes aprovechan las tecnologías TIC para mejorar la eficiencia, gestionar la complejidad y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Estos proyectos abarcan una serie de iniciativas relacionadas con la gobernanza, la seguridad, el transporte, la energía, la infraestructura física y la atención sanitaria. Los objetivos incluyen aumentar la satisfacción de los ciudadanos, mejorar los tiempos de respuesta, mejorar la colaboración entre departamentos, aumentar la eficiencia energética y reducir los costos anuales. La adopción de IPv6 Mejorado en las ciudades inteligentes al proporcionar un espacio de direcciones masivo y tecnologías avanzadas, colabora en lograr los Acuerdos de Niveles de Servicio (SLA's) y cumplir con los KPI.

IPv6 Mejorado puede acelerar la comercialización de nuevos casos de uso de la industria 4.0 en sectores como el transporte inteligente, la minería, la manufactura y otras industrias. Esto se logra mediante la creación de redes capilares y bajo demanda mediante la combinación de espacio de direcciones IPv6 para dispositivos IoT, segmentación de redes basada en IPv6, Realidad Aumentada y Realidad Virtual (AR/VR) y otras tecnologías. Los beneficios para estas industrias incluyen una mayor eficiencia, entornos de trabajo más seguros (por ejemplo, la automatización de la minería y la exploración petrolera), una mayor competitividad global y un menor consumo de energía.

Aprovechar las capacidades de IPv6/IPv6 Mejorado para la modernización de redes inteligentes y flexibles ayudará a crear redes WAN de campus nativas en la nube y redes de estructuras digitales preparadas para el futuro. Además, esta innovación de soluciones de vanguardia ayuda a los Proveedores de Servicios de Comunicaciones (CSP) a habilitar una potencia informática rápida, capacidades de macrodatos y automatización de redes habilitadas por IA.

Los CSP debieran tener como objetivo ofrecer las siguientes capacidades de alto nivel en sus soluciones integradas de redes inteligentes en la nube:

- Conexión adaptable a múltiples nubes en el acceso a la red: garantiza conexiones flexibles y sin problemas en múltiples entornos de nube.
- Red como servicio con API simplificadas: ofrece funcionalidades de red como servicios a través de API fáciles de usar.

- Experiencia determinista: ofrece un rendimiento de red consistente y predecible.

Asistencia sanitaria

A nivel mundial, el sector sanitario requiere una integración extremo a extremo, segura e inteligente en la nube para responder eficazmente a desastres naturales como la pandemia de coronavirus. La digitalización del sector de salud exige una red sólida y fiable por parte de los CSP. Algunos de los desafíos más importantes para la industria sanitaria son:

- **El control de calidad de la red es un elemento fundamental de la infraestructura de cualquier país.** El sector sanitario tiene dificultades para satisfacer las demandas de latencia y ancho de banda requeridas. Garantizar que no haya pérdida de paquetes de información crítica en las redes híbridas y privadas de múltiples nubes es vital, pero también un desafío.
- **Confiabilidad de la red.** Los altos niveles de tráfico en las redes no segmentadas (sin Network slicing) de los CSP dificultan garantizar la resiliencia de la red durante interrupciones y desastres. Esta falta de fiabilidad puede dificultar las operaciones sanitarias, especialmente durante emergencias.
- **O&M complejos.** El lento aprovisionamiento de redes y la compleja gestión de interconexiones entre sitios remotos y la red cloud del centro hospitalario principal son algunos de los mayores desafíos durante las emergencias nacionales. Una operación y mantenimiento eficientes es crucial para mantener servicios sanitarios sin interrupciones ni fallas durante las crisis.

IPv6, con sus capacidades avanzadas, puede abordar estos desafíos al proporcionar una infraestructura de red escalable, resistente y segura. Al permitir la segmentación de redes, IPv6 puede garantizar un ancho de banda dedicado y una baja latencia para aplicaciones sanitarias críticas, lo que mejora la fiabilidad y el rendimiento generales de la red. Además, la integración inteligente en la nube facilitada por IPv6 puede simplificar la gestión de la red y mejorar la eficiencia operativa, lo que resulta crucial en situaciones de emergencia y de alta demanda.

Educación

El segundo sector más importante que requiere atención inmediata es el de la educación. La pandemia ha marcado el comienzo de una nueva norma de aprendizaje desde casa, un concepto que antes se limitaba a los programas de educación a distancia pero que ahora practican los estudiantes desde el jardín de infantes hasta los niveles de posgrado.

Este cambio plantea varios desafíos y requiere una infraestructura de red de alta calidad para apoyar diversas actividades educativas. Entre estas el acceso a las redes de proveedores de educación desde la conexión de banda ancha doméstica, la video seguridad para los sistemas de exámenes y la investigación en grupo en tiempo real. Lo anterior dado que, con el intercambio de datos críticos, se requiere una red de transporte CSP de alta calidad con una excelente experiencia de usuario y con menos distorsiones y pérdidas de paquetes de datos.

Requisitos clave para la digitalización educativa:

-
1. **Redes seguras y confiables:** Las instituciones educativas requieren redes de campus privados que sean seguras y confiables para garantizar operaciones fluidas, especialmente para actividades como el monitoreo seguro de exámenes y el acceso a recursos de investigación enriquecidos.
 2. **Acceso multinube ágil:** Las instituciones necesitan una conexión única y ágil a múltiples servicios en la nube. Esta capacidad es crucial para mantener una alta calidad del servicio y garantizar que los estudiantes y educadores puedan acceder a los recursos que necesitan sin problemas.
 3. **Integraciones inteligentes de redes en la nube:** La integración de redes inteligentes en la nube es esencial para gestionar las altas exigencias de la educación digital. Esto incluye la capacidad de manejar grandes cantidades de datos, garantizar una baja latencia y proporcionar una experiencia de usuario consistente en un entorno multinube.

Operadores de telecomunicaciones

La tendencia creciente de servicios de banda ancha, mayor rendimiento para servicios sensibles a la latencia y procesamiento más rápido en redes de borde (del inglés “Edge”) está impulsando la aceptación de los fenómenos de redes inteligentes habilitadas en la nube. Edge, metro y red troncal con IPv6 Mejorado habilitado garantiza adaptabilidad, gran capacidad, inteligencia, simplicidad de red y nuevos servicios que se comercializan rápidamente. Con las redes IPv6, los operadores de telecomunicaciones pueden ayudar a las empresas a reducir el costo de conectarse a las nubes públicas al eliminar la necesidad de abordar las traducciones. La adopción de IPv6 permitiría a los operadores de telecomunicaciones monetizar la segmentación de redes vendiendo una calidad de servicio diferenciada con SLAs (acuerdo de nivel de servicio) garantizados. En el sector de las telecomunicaciones, las funciones de red en la nube mejorada IPv6 permiten a los operadores establecer líneas privadas de acceso a la nube distintivas, aprovechando las ventajas de sus recursos de red. Esto facilita la entrega de experiencias de acceso a la nube rápidas y de alta calidad a los usuarios. Aprovechar la solución de conexión múltiple en el lado de acceso permite a los usuarios tener un acceso rápido a la nube. Mientras tanto, la solución de programación de líneas privadas garantiza un acceso unificado y una evolución adecuada en el lado de la agregación. En el lado de la red troncal, el algoritmo de mapas inteligentes en la nube basado en SRv6 optimiza la programación de los recursos de la red en la nube.

Sector financiero

El sector financiero está experimentando una importante transformación con la llegada de nuevos servicios digitales, como las transacciones y los pagos en línea. Este cambio no solo tiene por objeto aumentar la estabilidad de las operaciones financieras, sino también mejorar la agilidad y la capacidad de respuesta de los servicios financieros. SRv6 permite que sucursales y puntos de venta en diferentes regiones accedan a los servicios en la nube en un solo salto. El algoritmo de programación correspondiente programa de manera flexible los recursos de la nube y la red en función del estado de carga actual de las nubes y las redes. Los O&M inteligentes basados en tecnologías como la

medición de flujos dentro de banda garantiza un funcionamiento estable y fiable de las redes de servicios financieros.

Fabricación – Sector manufacturero

En el sector manufacturero, la transmisión de señales de control industrial impone requisitos estrictos sobre el rendimiento de la red. La adopción de IPv6 y tecnologías de segmentación de redes desempeña un papel crucial para satisfacer estas demandas e impulsar la evolución de la fabricación inteligente. En la industria de fabricación inteligente, IPv6 proporciona direcciones suficientes para el gran volumen de sensores, mientras que la división de redes proporciona una garantía dedicada a nivel de red para diferentes servicios. Después de la reconstrucción basada en IP, los datos de producción masivos se pueden transferir rápidamente a la nube, y la potencia informática y la inteligencia de la nube se pueden transferir de manera eficiente a los sitios de producción para guiar las líneas de producción con mayor precisión y eficiencia.

El IPv6 y la división de redes, las fuerzas transformadoras de la industria manufacturera, están proporcionando la infraestructura esencial para las iniciativas de fabricación inteligente. Estas tecnologías, con su capacidad para gestionar y controlar de manera eficiente una multiplicidad de dispositivos, garantizar la transmisión fiable de señales de control críticas y facilitar la transferencia y el procesamiento rápidos de datos, están capacitando a los fabricantes para lograr una mayor eficiencia, precisión y flexibilidad. Esta esclarecedora transformación está allanando el camino hacia un panorama industrial más innovador y competitivo. Desde IPv6 hasta IPv6 Mejorado, estas tecnologías están dando forma a una mejor infraestructura de conectividad, evolucionando a la visión de Net5.5G para la red objetivo de transporte IP.

IPv6 Mejorado para potenciar la infraestructura de conectividad

IPv6 Mejorado es una versión actualizada de IPv6 (Protocolo de Internet versión 6) que mejora las capacidades de las redes IP. Algunas de las mejoras incluyen:

- **Ancho de banda:** IPv6 Mejorado ofrece un ancho de banda ultra alto.
- **Conectividad:** IPv6 Mejorado proporciona conectividad ubicua.
- **Seguridad:** IPv6 Mejorado mejora la seguridad.
- **Automatización:** IPv6 Mejorado incluye automatización.
- **Calidad determinista:** IPv6 Mejorado mejora la calidad determinista.
- **Latencia:** IPv6 Mejorado ofrece baja latencia.

IPv6 Mejorado utiliza una serie de innovaciones tecnológicas y de protocolo, como el enrutamiento de segmentos sobre IPv6 (SRv6), la división de redes, Telemetría de información de flujo in situ (IFIT) y encapsulación IPv6 de replicación explícita de índice de bits (BIERv6).

El IPv6 Mejorado se considera una base para la economía digital y un componente clave para la transformación. También se considera una forma de desbloquear el potencial de red y marcar el comienzo de una nueva era de redes IP inteligentes.

Los avances en la IA y la computación cuántica están catalizando nuevos debates entre los proveedores de servicios en relación con las actualizaciones de la arquitectura de redes de transporte IP. Estas actualizaciones abarcan cuatro áreas clave: redes móviles, de campus, portadoras y de centros de datos. La Asociación Mundial de Banda Ancha (WBBA) ha definido la arquitectura de red objetivo Net5.5G, proporcionando un conjunto de soluciones y productos especializados para satisfacer la creciente demanda de aplicaciones de IA entre los consumidores domésticos y los casos de uso de industrias verticales.

Las estrategias y planes de transformación digital de muchos países requieren la construcción o modernización de infraestructuras de comunicación de datos de operadores y empresas. En asociaciones del sector como WBBA (World Broadband Association) se están celebrando debates sobre las aplicaciones y los casos de uso que impulsarán nuestra vida diaria a mediano plazo, los requisitos de esas aplicaciones.

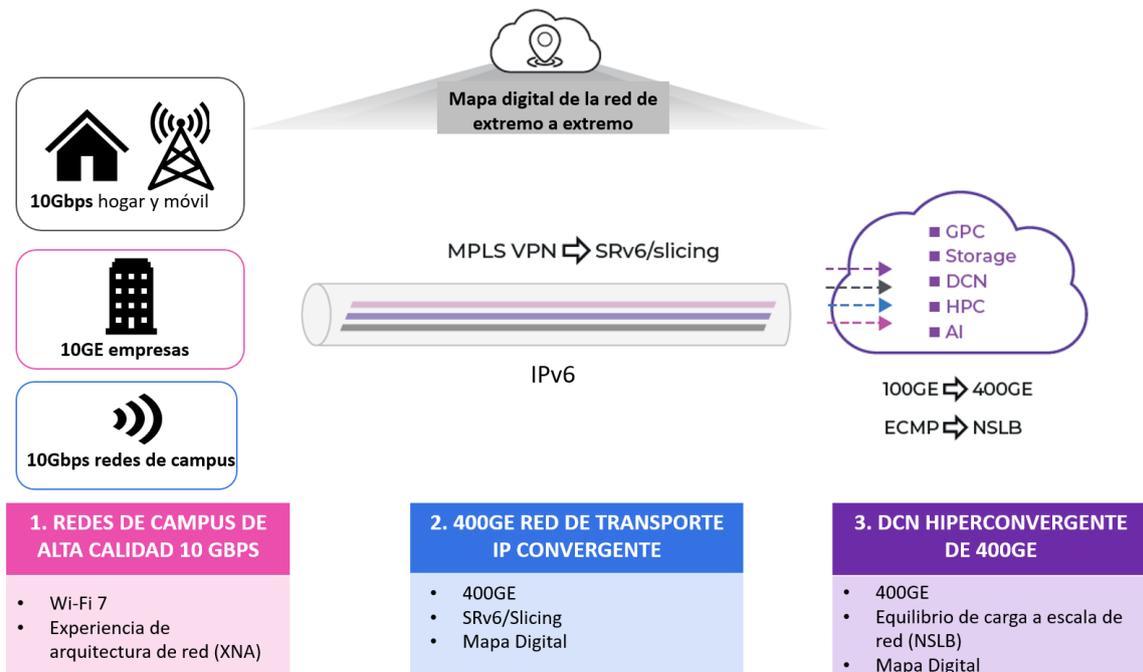
También definen la red objetivo que cumple con esos requisitos. WBBA ha definido a Net5.5G como la futura red para la era de la IA, la nube y el IoT. Net5.5G soporta la cantidad y calidad de conexiones con capacidad suficiente para los casos de uso del siguiente quinquenio 2025-2030. En la definición de Net5.5G, IPv6/IPv6 Mejorado desempeña un papel predominante. Mientras que IPv6 admite una gran cantidad de conexiones, los protocolos mejorados IPv6 proporcionan la calidad de experiencia requerida y las facilidades de O&M a una gran cantidad de conexiones.

Desarrollo de la visión de Net5.5G para la red objetivo de transporte IP

Net5.5G significa un salto sustancial en la infraestructura de red, perfectamente alineado con la era de la informática ubicua, las redes móviles 5.5G y la digitalización universal en todas las industrias. Los avances clave incluyen la convergencia de la informática y las redes, redes portadoras de 5.5G mejoradas e Internet inteligente con capacidades de detección generalizadas. En su núcleo se encuentra la tecnología E2E IPv6 Mejorado que anuncia una nueva era que facilita el despliegue de Wi-Fi 7, E2E 800GE, redes deterministas y una red informática consciente de las aplicaciones. Esta infraestructura inteligente cierra la brecha entre los espacios físicos y digitales y está preparada para satisfacer las necesidades cambiantes del sector de las telecomunicaciones para 2030.

Net5.5G utiliza la tecnología IPv6/SRv6 extremo a extremo como núcleo. Actualiza capacidades de red críticas, tales como acceso Wi-Fi 7, 400GE de extremo a extremo, mapeo digital de red, balanceo de carga a escala de red y arquitectura de red centrada en la experiencia. Esto permite la implementación de Wi-Fi 7, 400GE de extremo a extremo, redes deterministas y una red consciente de las aplicaciones. Esta infraestructura inteligente conecta los dominios físicos y digitales, cuya preparación está prevista para 2030. Net5.5G no está orientada únicamente a soportar flujos de tráfico básicos, sino casos de uso ultra fiables y de baja latencia en escenarios de convergencia fijo-móvil.

Figura 9: Arquitectura Net5.5G



Fuente: WBBA, Omdia

Net5.5G define tres características determinantes para la red IP objetivo de próxima generación, dando forma a la evolución de la red en la era de 5.5G/6G:

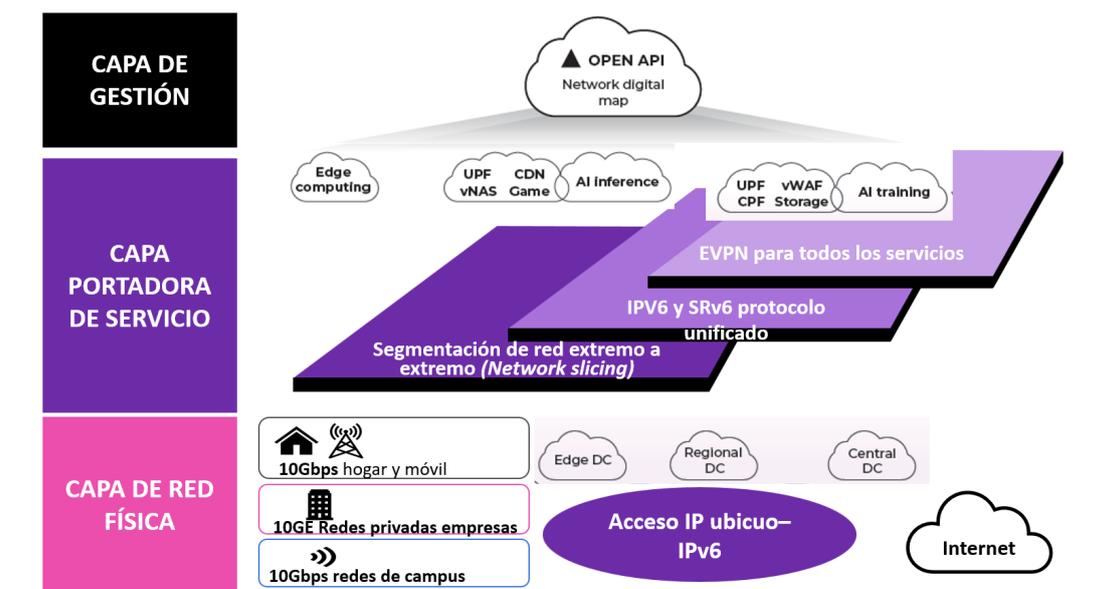
- Una red para todos los servicios
- Una red a varias nubes para lograr una sinergia entre la red y la nube
- O&M inteligente de red como servicio

Esta actualización de la arquitectura de red objetivo Net5.5G abarca cuatro áreas objetivo clave de la red E2E:

- **Redes de acceso:** Actualizar las redes de acceso (banda ancha móvil, banda ancha doméstica, campus empresarial y líneas privadas empresariales) a conexiones de 10 Gbps para adaptarse a nuevas aplicaciones. El Net5.5G aboga por Wi-Fi 7 en las redes de campus debido a su capacidad de acceso máximo de hasta 23 Gbps, lo que garantiza una transmisión de datos mejorada, baja latencia, alta confiabilidad y una calidad de servicio superior.
- **Redes metropolitanas y core:** Elevar la red de transporte IP convergente a 400GE para agregación metro y a 400GE / 800GE para redes core. Net5.5G recomienda SRv6 (enrutamiento de segmentos) para la programación entre dominios en el desarrollo y segmentación de servicios de red en la nube 5G-Avanzada/6G para garantizar la calidad diferenciada y modelos comerciales B2B monetizados.

- **Red de centro de datos (DCN):** Actualizar la DCN a 400GE / 800GE hiperconvergentes para lograr un coste total de propiedad (TCO) y un equilibrio de carga a escala de red (NSLB) óptimos, lo que garantiza un equilibrio del tráfico del 100% en toda la red y mejora el rendimiento para escenarios de entrenamiento de IA.
- **Gestión de red end-to-end (E2E):** Utilizar mapas digitales de red habilitados para IA que abarquen el acceso, el transporte IP convergente, la O&M de red inteligente DCN y las capacidades de gemelo digital de red para una visualización, observación y análisis de red en tiempo real de redes más inteligentes.

Figura 10: Arquitectura de la red de transporte IP



Fuente: WBBA, Omdia

Tecnologías habilitadoras clave para la arquitectura de red Net5.5G.

En esta sección se destacan las tecnologías habilitadoras clave a las que se dirige la arquitectura de red Net5.5G.

Programación de redes (SRV6)

El Enrutamiento de segmentos IPv6 (SRv6) es la última evolución de la tecnología de enrutamiento de origen. Con un ecosistema industrial en evolución y estándares relacionados, la implementación de

tecnologías de compresión SRv6 y SRv6 en redes IP globales va en aumento. Esta implementación ayuda a los operadores de telecomunicaciones, los actores de la industria y las empresas a establecer redes más rentables e inteligentes, brindando experiencias de servicio convenientes y de alta calidad. La implementación incremental de SRv6 facilita una transición fluida de IPv6 a SRv6, lo que evita la necesidad de realizar una actualización única en toda la red y, al mismo tiempo, facilita la rápida implementación del servicio. La implementación incremental de SRv6 puede proteger al máximo los activos y las inversiones de los operadores de red.

Separación de redes para el aislamiento de recursos y garantía de calidad

En cuanto a los estándares, los borradores relativos a la arquitectura de segmentos de red han avanzado hasta la fase de lanzamiento de RFC. Varios borradores de las extensiones de protocolo de plano de datos, plano de control y plano de administración han pasado a ser borradores de grupo de trabajo. Está previsto que una serie de borradores de segmentos de red se publiquen formalmente en 2024 dentro del IETF¹³. A medida que el ecosistema de la industria de segmentación de redes y los estándares relacionados maduran, las segmentaciones de red basadas en IPv6 mejoradas se implementan cada vez más en redes IP globales. Esta implementación mejora las experiencias de servicio para varios sectores y clientes empresariales, lo que permite a los operadores de telecomunicaciones monetizar los modelos de negocio "Business-to-Business (B2B)".

Ethernet de banda ultra ancha 400/800GE

Ethernet 400GE / 800GE tiene una gran capacidad de transmisión, una alta eficiencia de transmisión y una sólida interoperabilidad, lo que ayuda a satisfacer los requisitos de la evolución de la red y los servicios existentes. Surge como la solución principal para los proveedores de servicios en la nube que requieren centros de datos de alta densidad y para los operadores de telecomunicaciones que necesitan urgentemente soluciones de crecimiento del tráfico de alta velocidad y alto ancho de banda.

Wi-Fi 7

Wi-Fi 7 surge como un componente vital en medio de la proliferación de tecnologías LAN inalámbricas (WLAN) en hogares y empresas. Wi-Fi 7 mejora las velocidades de transmisión de datos al tiempo que garantiza una baja latencia y una alta fiabilidad y cumple adecuadamente los requisitos de robustez y rendimiento de latencia en varios escenarios. Algunos ejemplos incluyen conferencias de voz, operaciones en tiempo real, Internet industrial de las cosas (IIoT) y telemedicina interactiva, donde los estrictos requisitos de latencia, como la latencia de 100 ms y la disponibilidad de servicio del 99,999% requerida para los vehículos guiados autónomamente (AGV) industriales, son fundamentales.

Balanceo de carga a escala de red (NSLB)

A medida que los centros de datos aumentan de tamaño, en parte debido a aplicaciones como la inteligencia artificial y la adopción generalizada de la nube, el número de conmutadores y la topología de las Redes de Centros de Datos (DCN) aumentan en complejidad. Un diseño de red típico para los centros de datos consiste en utilizar enlaces redundantes entre conmutadores, normalmente en diferentes niveles, para proporcionar caminos (*paths*) de respaldo y mejorar la disponibilidad de toda

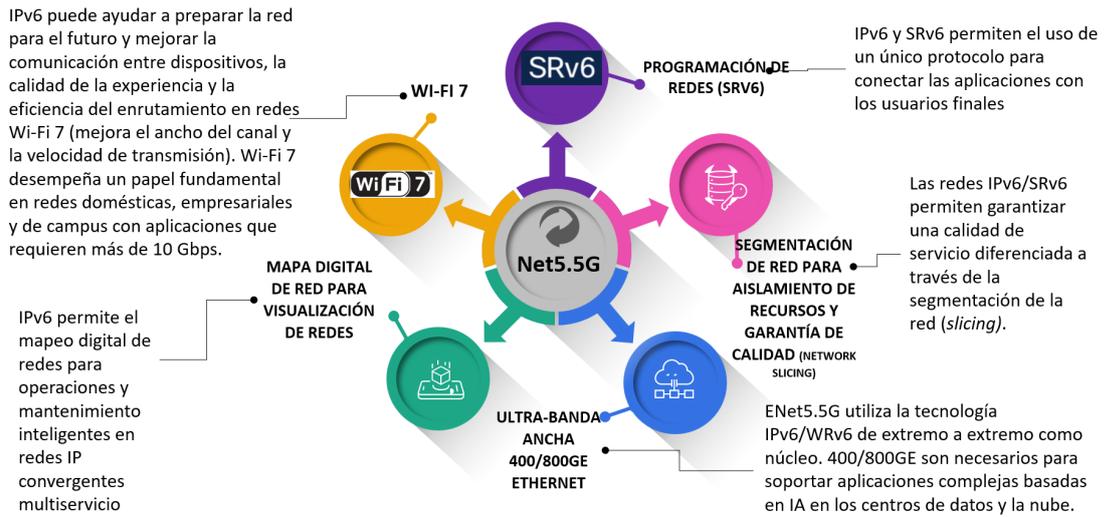
¹³ <https://www.ietf.org/about/introduction/>

la red. Las soluciones tradicionales no pudieron aprovechar al máximo la capacidad de los enlaces, ya que algunos están en estado de reenvío y otros permanecen inactivos, lo que conduce a un rendimiento no óptimo de toda la red. NSLB tiene como objetivo resolver esta deficiencia y mejorar el rendimiento general a más del 90%. Esto ofrece beneficios en términos de ahorro de costos y simplificación de la operación y mantenimiento.

Mapa digital de red para visualización de red.

El mapa digital de red aplica el concepto de gemelo digital a las redes de comunicación, proporcionando una experiencia de mapa de tráfico de navegación. Esta solución soporta aprovisionamiento ágil de servicios, optimización automática del tráfico, análisis inteligente de fallas y predicción de riesgos potenciales. Como gemelo virtual, mapea digitalmente entidades físicas de red y mantiene una alineación interactiva en tiempo real con redes físicas. Al ofrecer capacidades de topología dinámica multidimensional, localización, verificación de configuración de red y aseguramiento de la experiencia de servicio, garantiza niveles de servicio continuos y mejora las experiencias de servicio. El mapa digital de red sienta las bases para O&M inteligentes automáticos, auto-optimizados y auto-reparables, y sirve como piedra angular para la evolución de la gestión inteligente de redes.

Figura 11: Tecnologías habilitadoras clave para la arquitectura de red Net5.5G



Fuente: OMDIA, WBBA

Conclusión

El papel del IPv6 está impulsando la expansión de las economías digitales. La implementación de una infraestructura de red nacional y una estrategia de conectividad que haga hincapié en IPv6 acelerará la adopción. Los proveedores de servicios de telecomunicaciones pueden aumentar sus ingresos por conectividad digital modernizando sus redes de transporte IP. Estos proveedores deben considerar el papel crucial que desempeñan las redes de transporte basadas en IPv6 escalables, ágiles y bajo demanda en la era digital. Adoptar "IP en todo" (*IP in everything*) con redes IPv6 mejoradas puede simplificar la complejidad de la red y es esencial para la era 5G, IoT y cloud.

IPv6 Mejorado establece una base sólida para el despliegue de tecnologías 5G, nube e IA. Para lograr una implementación exitosa, los operadores de servicios de telecomunicaciones y los proveedores de tecnología deben colaborar como socios estratégicos para desarrollar estrategias de adopción, planes de migración y hojas de ruta de IPv6 mejorado a largo plazo. La tecnología IPv6 Mejorada admite numerosas conexiones de alta calidad y los requisitos de servicios de baja latencia. Estos servicios de alta calidad incluyen automatización industrial, conducción autónoma, juegos en la nube y experiencias de realidad aumentada/realidad virtual (AR/VR). La innovación mejorada con IPv6 permite a los proveedores de servicios de telecomunicaciones reducir significativamente los tiempos de detección de fallas, automatizar las operaciones y actividades de mantenimiento, realizar una planificación de red rápida e inteligente y mejorar la red en general al poder identificar las aplicaciones y adecuar el desempeño de esta en función a las mismas. Por lo anterior, desde la definición de Net5.5G, el IPv6/IPv6 Mejorado desempeña un papel central, ya que, si bien IPv6 admite una gran cantidad de conexiones, los protocolos mejorados IPv6 garantizan la calidad de experiencia necesaria y las funcionalidades de operación y mantenimiento para estas conexiones. Se recomienda realizar la transición a Net5.5G para modernizar sin inconvenientes la red de comunicación de datos IP de extremo a extremo.

Net5.5G también describe las tecnologías clave que ofrecen infraestructuras de alta capacidad: Wi-Fi 7 en redes de campus donde se conectan los terminales, 400GE / 800GE en redes troncales de redes portadoras, y 400GE/800GE en redes de centros de datos (DCN). Net5.5G representa el consenso de la industria para una red objetivo de alta capacidad y calidad.

La tecnología IPv6 mejorada se considera una innovación fundamental y un facilitador clave en la evolución de las redes hacia la era de 5.5G. Ofrece la flexibilidad necesaria para implementar casos de uso y tecnologías emergentes, incluidas conexiones a sitios 10G, Wi-Fi 7, 400GE de extremo a extremo, mapeo digital de extremo a extremo, redes deterministas, y una red consciente de las aplicaciones/informática con SRv6 (Segment Routing v6) para obtener capacidades extensibles.

Para fomentar la adopción de IPv6 e IPv6 Mejorado en México y monitorear el progreso, se proponen metas para determinados indicadores clave de desempeño basados en mejores prácticas y planes similares en otros países líderes. Dado que la adopción del IPv6 en México ya supera actualmente el 50%, las tasas objetivo se establecen en el 60% de adopción para 2027 y el 70% para 2030.

A modo de resumen, se destaca que IPv6 no es el final del camino, sino la puerta que abre un nuevo mundo de tecnologías innovadoras que harán posibles las aplicaciones y casos de uso de la nueva era de Internet. La aceleración de la adopción de IPv6, IPv6 Mejorado y Net5.5G proporcionará una ventaja inicial a los operadores, las empresas y todo el país en la carrera por la transformación digital. Todas las partes interesadas del sector pueden contribuir a acelerar la actualización de la infraestructura de Internet.

Anexo

Fuentes

«Networks Evolution for the 5.5G/6G ERA NET5.5G ARQUITECTURE» (2024), Asociación Mundial de Banda Ancha

Documentos e informes de investigación sobre IPv6 de conmutación y enrutamiento de proveedores de servicios, Omdia

Libro blanco sobre IPv6 en Brasil (2023), Anatel

Glosario

API Interfaz de Programación de Aplicaciones, del inglés *Application Programming Interface*

AI Inteligencia artificial

ANATEL Agencia Nacional de Telecomunicaciones de Brasil

APNIC Centro de Información de la Red de Asia y el Pacífico

AR/VR Realidad virtual/realidad aumentada

ARCEP Autoridad reguladora de las comunicaciones electrónicas, postales y de la distribución de medios impresos de Francia (*L'autorité de régulation des communication électroniques, des postes et de la distribution de la presse*)

BIERv6 Replicación Explícita del Índice de Bits v6, del inglés *Bit Index Explicit Replication v6*

CE Comisión Europea

CSP Proveedores de servicios de comunicaciones

DCN Red de centros de datos

E2E de extremo a extremo

ETSI Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones

GUI Interfaz Gráfica de Usuario, del inglés, *Graphical User Interface*

IAB Junta de arquitectura de Internet

IETF Grupo de trabajo de ingeniería de Internet

IFIT Telemetría de Información de Flujo in Situ, del inglés, *In Situ Flow Information Telemetry*

IPv4 Protocolo de Internet IPv4 versión 4 (). La primera versión del protocolo de Internet (IP)

IPv6 protocolo de Internet versión 6. IPv6 fue desarrollado por el IETF para abordar el problema largamente anticipado de falta de direcciones IP. Garantiza una experiencia integral de servicios digitales y maximiza la productividad digital mediante la actualización a redes de campus de 10 Gbps de alta calidad, WAN convergentes de 400GE/800GE, redes de centros de datos de superconectividad de 400GE/800GE y seguridad de red integrada de extremo a extremo (E2E)

IPv6 Mejorado: características y mejoras basadas en el protocolo IPv6 para satisfacer las crecientes demandas de las infraestructuras de red modernas, del inglés, *IPv6 Enhanced*

KPIs Indicadores clave de desempeño

ML Aprendizaje Automatizado, del inglés, *Machine Learning*

NAT Traductores de direcciones de red, del inglés, *Network Address Translation*

Net5.5G La próxima generación de redes IP

NSLB Balanceo de carga a escala de red

O&M Operaciones y mantenimiento

SDN Redes definidas por Software, del inglés *Software Defined Networks*

SLA Acuerdos de nivel de servicio, del inglés *Service Level Agreements*

SRv6 IPv6 de enrutamiento de segmentos, del inglés *Segment Routing IPv6*

TIC Tecnologías de la información y la comunicación

TCO Costo total de propiedad

WAN Red de área extendida

WBBA Asociación Mundial de Banda Ancha HTTPS: <http://www.mundialbroadbandass.com/>