

Gestión de la innovación

IPv6, IPv4, Innovación



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY

Implementación de IPv6: ¿un desafío de innovación para los ISP en Uruguay?

Gianina Pensky Markowicz

Tesis de Maestría presentada al Programa de Posgrado de Gestión en la Innovación Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, como parte de los requisitos necesarios para la obtención del título de Gestión de la Innovación .

Director:

Prof. Ariel Sabiguero Yawelak

Montevideo – Uruguay

Mayo de 2021

Pensky Markowicz, Gianina

Implementación de IPv6: ¿un desafío de innovación para los ISP en Uruguay? / Gianina Pensky Markowicz. - Montevideo: Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, 2021.

XV, 138 p. 29, 7cm.

Director:

Ariel Sabiguero Yawelak

Tesis de Maestría – Universidad de la República, Programa en Gestión de la Innovación 2021.

Referencias bibliográficas: p. 110 – 114.

1. Innovación, 2. IPv6, 3. IPv4, 4. ISP, 5. tecnología, 6. dirección IP, 7. implementación. I. Sabiguero Yawelak, Ariel, . II. Universidad de la República, Programa de Posgrado en Gestión de la Innovación III. Título.

INTEGRANTES DEL TRIBUNAL DE DEFENSA DE TESIS

Montevideo – Uruguay
Mayo de 2021

Agradecimientos

Quisiera agradecer a mi esposo Alejandro que es mi motor, mi mejor compañía y me apoya en todo. A mi hija Eva que nació en este año, en el que me decidí a terminar la tesis en medio de la cuarentena y era mi despertador a las 5 am para sentarse a jugar conmigo, mientras yo avanzaba en esta tesis. A mi hijo Juan de 3 años, por esperarme para jugar después que yo hacía la tesis y transmitirme su alegría cuando estamos juntos. También quiero agradecer a mis padres Abraham y Graciela que me brindaron todas las herramientas para poder formar lo que soy y puedo hacer hoy. A mi hermana Tatiana que siempre me dio fuerzas para seguir avanzando en la investigación más allá de las dificultades y ayudarme a cuidar a mis hijos mientras que yo avanzaba. También a mi tutor Ariel que me dio un empujón más de una vez para avanzar con esta investigación. Finalmente a mi abuelo Marcos quien siempre ha sido un ejemplo para mí y me ha transmitido su fuerza para siempre seguir adelante y no parar hasta lograr lo que uno quiere.

RESUMEN

Desde hace más de 30 años que se anuncia el agotamiento de las direcciones del Protocolo de Internet en su versión 4 (IPv4) y la necesidad cada vez mayor de direcciones IP para el crecimiento exponencial de dispositivos conectados a Internet. Como resultado, se crea el Protocolo de Internet en su versión 6 (IPv6) en la década del noventa. El nuevo protocolo representó una innovación en forma de cambio disruptivo para todos los Internet Service Provider (ISP), y como tal, ha sido muy difícil su despliegue. Ha sido disruptivo debido a que su implementación trae como consecuencia varios cambios significativos en las redes, tanto de configuración como de equipamiento. Varios ISP se han mostrado reticentes a implementar IPv6 y argumentan que su implementación representa un costo alto en cuanto a: nuevo hardware, personal capacitado, nuevas configuraciones en sus redes, entre otros. Los ISP dicen que es un riesgo que no están dispuestos a asumir, debido a que no obtendrán ninguna retribución a cambio. Es por eso que aún buscan soluciones paliativas para no realizar la implementación de IPv6. Sin embargo, se observa que las alternativas usadas a largo plazo en redes grandes, podrían provocar más dificultades que soluciones. A partir de esta investigación se busca validar los argumentos planteados por los ISP para no implementar IPv6. Para eso se define una métrica para identificar los principales actores referentes de Internet en Uruguay. Se realizan entrevistas a esos actores para valorar el grado de implementación de IPv6 en Uruguay, identificar las razones por las cuales no se ha culminado la implementación e investigar si se han planificado acciones para apoyar la implementación de IPv6. Basándose en los resultados obtenidos se estudian ISP, actores de la academia y entidades del gobierno.

Con respecto al área de innovación, se define una métrica para valorar el grado de implementación de IPv6 como innovación para cada uno de los actores seleccionados. Además, se investiga si se ha seguido alguna metodología de innovación para lograr su despliegue. Se estudia si la implementación de IPv6 es de difícil acceso en Uruguay y si el diseño de IPv6 favoreció o no a su implementación. Finalmente, se proponen medidas de innovación para lograr la implementación completa de IPv6. Durante la investigación se demuestran

algunas conclusiones importantes como que la implementación de IPv6 es una innovación. Sin embargo, se observa que no se ha seguido una metodología de innovación para alcanzar su despliegue completo. Una de las razones es que el contexto de innovación en Uruguay no favorece la implementación de IPv6, por lo cual el grado de implementación de IPv6 en Uruguay es bajo. Si bien como hipótesis se plantea que la principal razón por la cual el despliegue de IPv6 está obstaculizado son los costos de implementación, se concluye que la característica de transparencia en el propio diseño de IPv6 junto con las alternativas que buscan ayudar la implementación de IPv6 conspiran contra su adopción.

Palabras claves:

Innovación, IPv6, IPv4, ISP, tecnología, dirección IP, implementación.

Lista de siglas

Lista de siglas y acrónimos

- AGESIC** (Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento) [28](#), [34](#), [60](#), [61](#), [101](#)
- ANII** Agencia Nacional de Investigación e Innovación [17](#), [32](#)
- ANTEL** Administración Nacional de Telecomunicaciones [28](#), [33](#), [54](#), [60](#), [61](#), [67](#), [70](#)
- APN** Punto de acceso [62](#)
- APNIC** Asia-Pacific Network Information Centre [40](#), [54](#), [90](#), [105](#)
- ARIN** American Registry for Internet Numbers [40](#)
- CAF** Comisión Andina de Fomento [27](#)
- CDN** Red de Distribución de Contenidos [62](#)
- CIN** Centro de Investigación industrial [67](#)
- CORDIS** Community Research and Development Information Service [45](#)
- DFZ** Default Free Zone o Tabla de enrutamiento Global [58](#)
- DHCP** (Dynamic Host Configuration Protocol) [39](#)
- DNS** Domain Name Server [39](#), [63](#)
- DTI** Department of Trade and Industry [10](#)
- EEUU** Estados Unidos [61](#)
- HSPA** (High-Speed Packet Access) [99](#)
- IANA** Internet Assigned Numbers Authority [40](#)
- ICANN** Internet Corporation for Assigned Names and Numbers [27](#)
- ID** Investigación y Desarrollo [14](#)
- IETF** Internet Engineering Task Force [39](#), [61](#)
- INSEAD** Institut Européen d'Administration des Affaires [12](#)
- IPSec** (Internet Protocol Security) [22](#), [23](#)
- IPv4** Protocolo de Internet en su versión 4 [vii](#), [1](#), [2](#), [3](#), [5](#), [8](#), [12](#), [18](#), [22](#), [23](#),

24, 25, 26, 36, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 62, 65, 69,
70, 71, 72, 74, 76, 77, 79, 82, 83, 93, 96, 107

IPv6 Protocolo de Internet en su versión 6 VII, VIII, XII, XIII, XIV, 1, 2, 3, 4,
5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38,
39, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60,
61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80,
81, 82, 83, 84, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101,
102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 119

ISOC Internet Society 24, 27

ISP Internet Service Provider VII, XIII, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 23, 26, 28, 30, 33, 40,
49, 51, 52, 56, 57, 60, 61, 69, 70, 80, 86, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99,
101, 104, 106, 108, 109

ITU International Telecommunications Union 3

IoT Internet of Things 23, 44, 97

LACNIC Registro de Direcciones de Internet de América Latina y Caribe 3,
40, 57, 61

LTE (Long Term Evolution) 62, 99

MinTIC (Ministerio de Tecnologías de la Información) 24, 109

NAT Network Address Translation 25, 42, 57, 67, 95, 118

NDP Neighbor Discovery Protocol 43

NRO Number Resource Organization 100, 101

OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico 10

OMPI Organización Mundial de la Propiedad Intelectual 12

OSI Open System Interconnection 12

P2P Peer to Peer 46

PRISMA Portal de Ciencia, Tecnología e Innovación 17

PYMES Pequeñas y Medianas Empresas 16

RIPE Réseaux IP Européens Network Coordination Centre 40

RIR Regional Internet registry 41

SNI Sistema Nacional de Innovación 16

SeCIU Servicio Central de Informática 28, 33, 60, 61, 63, 65, 66, 67, 70

URSEC Unidad Reguladora de Servicio de Comunicaciones 27, 28, 34, 60,
61, 65, 67, 68, 101

UdelaR Universidad de la República 28, 33

VPN Virtual Private Network [63](#)

Tabla de contenidos

Notaciones	IX
Lista de siglas	XI
1 Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Contenido de la documentación	4
1.3 Preguntas de la investigación	5
1.4 Objetivo general y objetivos específicos	6
1.5 Hipótesis iniciales	7
1.6 Alcance	8
1.7 Gestión de tiempos	8
2 Bosquejo del estado de arte y marco conceptual	9
2.1 Sobre el concepto de innovación	9
2.1.1 Tipos de innovaciones	11
2.1.2 Índice mundial de innovación	12
2.1.3 Innovación en Uruguay	14
2.2 Evolución de Internet en cantidad de usuarios y tráfico	18
2.3 Métricas para la gestión de la innovación	19
2.4 Propuesta de IPv6 en sus inicios	22
2.5 Iniciativa para el despliegue de IPv6	23
2.5.1 Apoyo de organizaciones internacionales para el despliegue de IPv6	24
2.5.2 Iniciativas de algunos países de la región para el despliegue de IPv6	24
2.5.3 Iniciativas de gobiernos de otras regiones para el despliegue de IPv6	25

2.6	Otros intereses actuales	25
3	Metodología	27
3.1	Descripción general y fuentes de datos	27
3.2	Métrica para la selección de actores representativos para el estudio de la implementación de IPv6 en Uruguay	28
3.2.1	Actores representativos en el sector de los ISP en Uruguay	28
3.2.2	Entes de gobierno relacionados con Internet en Uruguay	32
3.2.3	Academia relacionada con Internet en Uruguay	33
3.2.4	Resumen sobre la metodología para la selección de las organizaciones	33
3.3	Métrica para la Innovación	34
3.3.1	Resumen sobre la metodología para el desarrollo de la innovación	38
4	Presentación de los datos, Análisis, Discusión	39
4.1	Agotamiento IPv4	39
4.2	Otras alternativas a IPv6	40
4.2.1	Mercado de transferencias de direcciones IPv4	40
4.2.2	Carrier grade NAT	42
4.3	Seguridad en IPv6	43
4.4	Innovación en IPv6	43
4.4.1	¿Es la implementación de IPv6 una innovación?	43
4.4.2	La innovación requiere implementación	45
4.4.3	Metodologías para el desarrollo de la innovación	46
4.4.4	Evolución de IPv6 en la industria	50
4.5	Despliegue de IPv6	51
4.5.1	Planificación del despliegue de IPv6	52
4.5.2	Por qué desplegar IPv6	52
4.5.3	Cómo medir el despliegue de IPv6	53
4.5.4	Proveedores de contenido en IPv6	55
4.6	Mediciones a nivel regional y nacional	56
4.6.1	Medición del despliegue de IPv6 en la región de Latinoamérica y el Caribe	57
4.6.2	Análisis del trabajo de campo: entrevistas a los actores seleccionados	60

4.6.3	Resumen	71
5	Mediciones de la implementación de IPv6 como innovación	73
5.1	Definición de una escala para la medición	73
5.1.1	Tareas clave	74
5.1.2	Condiciones establecidas	77
5.2	Aplicación del método en forma cuantitativa por cada actor de la muestra seleccionada	79
5.2.1	Medición de las tareas clave	80
5.2.2	Medición de las condiciones establecidas	85
5.3	Resumen de las mediciones de la implementación de IPv6 como innovación	90
6	Escenarios futuros, resultados y conclusiones	92
6.1	Retomando las hipótesis de la investigación	92
6.2	Propuestas de innovación para el despliegue de IPv6	98
6.3	Conclusiones generales	102
6.4	Lecciones aprendidas	107
6.5	Trabajo a futuro	108
	Referencias bibliográficas	110
	Anexos	115
Anexo 1	Plan inicial del trabajo proyectado	116
1.1	Etapas proyectadas	116
1.1.1	Etapa 1: Relevamiento de las mejoras propuestas por IPv6	116
1.1.2	Etapa 2: Identificación de los principales actores para la implementación de IPv6 en Uruguay	117
1.1.3	Etapa 3: Casos prácticos de implementación de IPv6 en Uruguay	117
1.1.4	Etapa 4: Comparación de las etapas 1 y 3	118
1.1.5	Etapa 5: Limitaciones y alternativas de ISP que no han implementado IPv6 en Uruguay	118
1.1.6	Etapa 6: Contexto en Uruguay	119
1.1.7	Etapa 7: Posicionamiento de Uruguay en la región	119
1.1.8	Etapa 8: Documentación final	120
1.2	Etapas ejecutadas	120

1.2.1	Etapa 1: Relevamiento de las mejoras propuestas por IPv6	120
1.2.2	Etapa 2: Identificación de los principales actores para la implementación de IPv6 en Uruguay	120
1.2.3	Etapa 3: Casos prácticos de implementación de IPv6 en Uruguay	120
1.2.4	Etapa 4: Comparación de las etapas 1 y 3	120
1.2.5	Etapa 5: Limitaciones y alternativas de ISP que no han implementado IPv6 en Uruguay	121
1.2.6	Etapa 6: Contexto en Uruguay	121
1.2.7	Etapa 7: Posicionamiento de Uruguay en la región	121
1.2.8	Etapa 8: Documentación final	121
Anexo 2	Entrevistas	122
2.1	Entrevista a ANTEL	122
2.2	Entrevista a Telefónica	126
2.3	Entrevista a SeCIU	130
2.4	Entrevista a URSEC y AGESIC	134
Anexo 3	Fases de agotamiento de direcciones IPv4 en LACNIC	138

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se describen las principales motivaciones que impulsan esta investigación. Luego se detalla el contenido de la documentación, se plantean las preguntas que guían la investigación, se desarrolla el objetivo general y los objetivos específicos. A continuación se expresan las hipótesis iniciales y el alcance y finalmente se describe la gestión de tiempos.

1.1. Motivación

Como se indica en el Manual de Oslo del 2018

“Una innovación es un producto o proceso, o combinación de ambos, nuevo o mejorado, que difiere significativamente de los productos o procesos previos de la unidad y que se hace disponible a potenciales usuarios o ha sido puesto en uso por la unidad”.

(Manual de Oslo, 2018).

Al evaluar si la aplicación de IPv6 es una innovación de acuerdo a la definición del Manual de Oslo, 2018, se podría decir que no es correcto afirmar que IPv6 es un producto nuevo, debido a que su creación fue en la década del noventa y estamos en el año 2021. Si se considera el 1 de enero de 1983 como el nacimiento de Internet, el RFC 2460 (sobre IPv6) y sus colegas llegan a los 15 años de Internet. Se podría decir que Internet vivió 15 años sin v6 y 23 con v6. Por otra parte, las aplicaciones en IPv6 no están ampliamente desarrolladas en Uruguay. Varias de las aplicaciones que funcionan para IPv4 deben ser rediseñadas para poder funcionar en IPv6, ya que, el desarrollo de las aplicaciones en IPv4 difieren de las aplicaciones en IPv6. Por lo tanto, decir que las

aplicaciones en IPv6 se hacen disponibles a potenciales usuarios, en Uruguay no sería del todo cierto. Si bien Uruguay cuenta con un 35,13 % de adopción de IPv6 como presenta Google IPv6 Statistics [1], los ISP uruguayos no brindan todos los servicios en IPv6; por lo cual no todas las aplicaciones para el usuario final (persona que se conecta a Internet a través de su dispositivo, por ejemplo desde su celular), se implementan en IPv6. Para lograr un despliegue completo de IPv6 es necesario que el tráfico que viaja por Internet, que pasa por varios nodos de la red, desde el ISP hasta el usuario final viaje todo en IPv6. Para lograr eso, aún falta mucho por desarrollar e implementar en IPv6.

Si bien en sus comienzos IPv6 presentaba varias ventajas respecto a IPv4, como indica Coffeen, T. [2], varias de estas ventajas hoy son cuestionadas. Por ejemplo, IPv6 planteaba inicialmente una mejora en la seguridad respecto a IPv4. Sin embargo, IPv6 ha introducido nuevos problemas de seguridad que los especialistas han tenido que resolver como menciona Gont, F. [3]. Por esta y otras razones, a pesar del trabajo de difusión que varias organizaciones y gobiernos han realizado para apoyar la implementación de IPv6, los resultados han sido más lentos de lo esperado. El despliegue de IPv6, originado hace más de 30 años, aún no ha logrado estar disponible para todos los usuarios finales. En particular, en Uruguay, donde hay un 35,13 % de adopción de IPv6, tampoco se ha logrado disponibilizar el uso de algunos servicios y aplicaciones en IPv6 para usuarios finales. Internet sigue funcionando con IPv4, y es interesante plantearse como interrogantes: ¿qué tan necesaria es la implementación de IPv6 para que siga funcionando Internet en Uruguay? ¿Podría plantearse como una forma de innovación la implementación de IPv6 en Uruguay? ¿Qué obstáculos realmente frenan su implementación?

Este proyecto propone identificar los desafíos que representa la implementación de IPv6 como innovación para los ISP en Uruguay y qué limitantes detienen su desarrollo como innovación. En primer lugar, se investigan cuáles son las principales razones por las cuales se recomienda implementar IPv6. Si bien cuando se creó el protocolo las recomendaciones se basaban en la mejora de determinados parámetros (mayor seguridad, configuración automática, entre otros), varias de las recomendaciones han sido cuestionadas. Por lo tanto, se investiga si esas recomendaciones prevalecen para la Internet actual o si algunas ya son obsoletas. Se comprueba si las motivaciones para las cuales se desarrolló el protocolo en sus inicios están siendo cumplidas actualmente o si han cambiado y los usos que se le da actualmente a IPv6 son otros. Además, se

busca definir si el diseño de IPv6 colaboró para lograr una eficiente implementación y se investiga si se utilizó una metodología de innovación para lograr su despliegue.

Se investiga el perfil del usuario final que se conecta a Internet. En la década del noventa, el usuario que se conectaba a Internet tenía un perfil académico. Sin embargo actualmente, ese perfil ha cambiado. De acuerdo con los datos publicados por International Telecommunications Union (ITU) [4] 51 % de la población mundial tiene acceso a Internet. Por lo cual, hoy en día el perfil del usuario conectado a Internet es muy variado. Actualmente al usuario de Internet no le interesa si se conecta por IPv6, IPv4 o por cualquier otro mecanismo de transición. Lo único que es de su interés es poder conectarse correctamente, navegar por Internet, ver Netflix, acceder a sus redes sociales (Facebook, Instagram), y en menor medida revisar el correo electrónico. Incluso varios de los nativos digitales no tienen correo electrónico y se comunican a través de redes sociales.

Un referente sobre el agotamiento de las direcciones IPv4 es Registro de Direcciones de Internet de América Latina y Caribe (LACNIC). LACNIC es una organización no gubernamental internacional establecida en Uruguay en el año 2002. Su función es la asignación y administración de los recursos de numeración de Internet (IPv4, IPv6), Números Autónomos y Resolución Inversa para la región. LACNIC contribuye al desarrollo de Internet en la región mediante una política activa de cooperación, promueve y defiende los intereses de la comunidad regional y colabora en generar las condiciones para que Internet sea un instrumento efectivo de inclusión social y desarrollo económico de América Latina y el Caribe. De acuerdo a la información publicada por LACNIC [5], el agotamiento de IPv4 es cuestión de tiempo. Sin embargo, la mayor interrogante es cuándo será ese agotamiento, y si los ISP estarán preparados para eso. También se puede afirmar que la solución para sobrellevar su agotamiento es IPv6, pero los ISP declaran que el costo de la migración (tanto económico como operativo) es la mayor limitación. Por lo tanto, la interrogante que se plantea es: ¿cuándo será más barato y valdrá más la pena pasarse a IPv6 en vez de seguir postergando con soluciones alternativas de IPv4?

Se define una métrica para seleccionar una muestra de actores representativos del estudio de Internet en Uruguay. Luego se trabaja en concreto con casos reales de los actores seleccionados que hayan implementado IPv6 para buscar respuestas a las interrogantes planteadas basándose en cada una de sus expe-

riencias. Se investiga qué nivel de implementación han logrado, si solamente han asignado direcciones IPv6, si ofrecen servicios a sus clientes en IPv6, si han logrado capacitar sus técnicos, entre otros aspectos relevantes. Luego se define una métrica para poder identificar el nivel de innovación que ha alcanzado cada uno de los actores seleccionados con respecto a la implementación de IPv6 a través del modelo de Innovación de la London Business School.

Las principales contribuciones de esta investigación se encuentran en relevar el grado de implementación de IPv6 en Uruguay y validarlo con casos prácticos. Además, se busca investigar por qué todavía no se ha logrado la implementación de IPv6 a pesar que se creó hace más de 30 años. ¿El diseño del nuevo protocolo fue pensado para lograr una exitosa implementación o IPv6 fue pensado para implementarse en forma de una lenta transición sin fecha de finalización? Adicionalmente, se busca brindar información de interés tanto a usuarios finales como al resto de ISP del país que aún no han implementado IPv6. A partir de los resultados obtenidos, se busca definir acciones para incentivar la implementación de IPv6 y lograr que IPv6 sea accesible para todos los usuarios en Uruguay. Se busca proponer medidas con relación a IPv6 que incidan en el alcance de la implementación.

1.2. Contenido de la documentación

El documento se organiza del modo que se describe a continuación. El capítulo 2 presenta el estado del arte relacionado con el concepto de innovación y con la implementación de IPv6. Con respecto a la innovación, se observan distintos tipos de innovaciones, el índice de innovación y se estudian aspectos de la innovación en Uruguay. Luego, se investiga sobre la evolución de Internet, cuál era la propuesta de IPv6 en sus comienzos y las iniciativas que han tomado gobiernos de diferentes países para incentivar el despliegue.

El capítulo 3 presenta la metodología de la investigación propuesta. En este capítulo se describen los métodos utilizados en la investigación y se argumenta su selección. En una primera etapa del trabajo de campo se realiza un análisis sobre las principales ventajas que presentó IPv6 en sus comienzos, se investiga qué tan aplicable es esa información actualmente, tomando como referencia material de organizaciones que trabajan con el fin de contribuir al desarrollo de Internet. En una segunda etapa se define una métrica para la selección de los actores referentes de Internet en Uruguay y otra métrica para poder identificar

el nivel de innovación que ha alcanzado cada uno de los actores seleccionados con respecto a la implementación de IPv6 a través del modelo de Innovación de la London Business School.

En el capítulo 4 se muestran los datos obtenidos para la investigación y se plantea un análisis y discusión sobre los mismos. En primer lugar, se realiza un análisis de lo que significa el agotamiento de IPv4 y qué consecuencias trae con relación a la necesidad de otras alternativas a IPv6. También se presenta información sobre seguridad en IPv6, se analiza la innovación en la aplicación y el despliegue de IPv6. A continuación se obtienen y se analizan mediciones del despliegue y se estudian los casos prácticos de despliegue de IPv6 de diferentes actores referentes de Internet.

En el capítulo 5 se define una escala para poder aplicar el modelo de la London Business School como métrica para medir la innovación con relación a la implementación de IPv6. Esta métrica se aplica para cada actor referente de Internet de Uruguay seleccionado en esta investigación.

Finalmente, en el capítulo 6 se retoman las hipótesis de la investigación para ver que resultados traen. Sobre la base de esto, se ilustran las conclusiones finales de la investigación, se realizan propuestas de innovación para el despliegue de IPv6, se presentan las lecciones aprendidas y se describe una propuesta de posible trabajo futuro.

1.3. Preguntas de la investigación

A continuación se presentan algunas de las preguntas que guían la investigación.

1. ¿Cuáles fueron los objetivos originales en la creación de IPv6?
2. ¿Qué mejoras propone el nuevo protocolo?
3. ¿Se puede considerar la aplicación de IPv6 una innovación en Uruguay actualmente?
4. ¿Cuáles son los actores más representativos para el estudio de la aplicación de IPv6 en Uruguay?
5. Para el caso de un ISP en Uruguay que desea implementar IPv6:
 - a) ¿Qué motivaciones tiene?
 - b) ¿Cuáles obstáculos debe enfrentar (económicos, de capacitación de personal, operativos, otros)?

- c) ¿Son los costos asociados una limitante para la implementación?
 - d) ¿Esto implica capacitación del personal?
 - e) ¿Cuáles fueron los resultados obtenidos luego de la implementación (ventajas y desventajas)?
 - f) ¿Se logra ser más competitivo con la implementación de IPv6?
6. ¿Qué alternativas tiene un ISP que no implementa IPv6 en Uruguay?
 7. ¿El contexto en Uruguay contribuye o dificulta la implementación de IPv6? ¿De qué forma el contexto uruguayo apoya este tipo de innovaciones?
 8. ¿Hay algún apoyo del gobierno o de otras organizaciones para la implementación de IPv6 y este tipo de innovaciones?
 9. ¿Qué acciones podría implementar el gobierno de Uruguay para estimular el despliegue de IPv6?
 10. ¿En qué medida participan AGESIC y la URSEC en la implementación de IPv6 en su función de reguladores y organismos de gobierno nacionales?
 11. ¿Cómo se posiciona Uruguay con respecto al resto de la región en cuanto al despliegue de IPv6?

1.4. Objetivo general y objetivos específicos

El objetivo general del proyecto es identificar cuáles son los principales desafíos que tienen los ISP en Uruguay para poder alcanzar un despliegue completo de IPv6. En primer lugar, se identifican los principales actores referentes de Internet en Uruguay a través de una métrica. Luego se valora el grado de innovación con relación a la implementación de IPv6 que ha logrado cada uno de los actores. Además, se busca identificar si las ventajas que planteaba IPv6 en sus inicios siguen siendo válidas en la Internet de hoy. Se investiga el estado de implementación de IPv6 en Uruguay y qué ventajas y desventajas presenta el contexto uruguayo para la implementación de IPv6.

Los objetivos específicos del proyecto incluyen:

1. Comprender el concepto de innovación e investigar el nivel de innovación en Uruguay.
2. Definir una métrica para identificar cuáles son los actores más representativos para estudiar la implementación de IPv6 en Uruguay.

3. Identificar si los ISP en Uruguay utilizaron una metodología de innovación para implementar IPv6.
4. Comprender el estado del arte y la bibliografía relacionada con la temática de IPv6.
5. Relevar la implementación de IPv6 en Uruguay.
6. Conocer las principales ventajas y desventajas que presentaba IPv6 en sus inicios.
7. Estudiar el proceso de implementación de IPv6 en algunos ISP uruguayos relevantes.
8. Identificar las ventajas, desventajas, facilidades y dificultades de implementar IPv6 en Uruguay.
9. Definir una métrica de innovación. Utilizar la métrica para evaluar el nivel de innovación de cada uno de los actores seleccionados con respecto a la implementación de IPv6.
10. Identificar la existencia de apoyo del gobierno para la implementación de IPv6.
11. Proponer iniciativas que favorezcan la innovación relacionada con la implementación de IPv6 en Uruguay.

1.5. Hipótesis iniciales

Esta sección plantea una serie de hipótesis en las cuales se basa la investigación.

1. Uno de los objetivos para el que fue diseñado IPv6 de necesidad inmediata prevalece.
2. La implementación de IPv6 es una innovación en Uruguay.
3. Ante el agotamiento de IPv4, la implementación de IPv6 es de difícil acceso en Uruguay pero necesaria.
4. La razón por la que el despliegue de IPv6 está muy obstaculizado en Uruguay es porque no es fácil de implementar.
5. La razón principal por la cual los ISP no acceden a realizar la implementación de IPv6 son los costos económicos.

1.6. Alcance

Este proyecto abarca el estudio del nivel de despliegue de IPv6 en una muestra seleccionada de los actores más representativos de Internet en Uruguay. Para eso inicialmente se investigan los principios del diseño de IPv6, su prevalencia y su uso actual. Se define una métrica para seleccionar los actores de la investigación y una métrica de innovación para medir el nivel de innovación con relación a la implementación de IPv6. De esta manera, se busca identificar por qué la longeva búsqueda de despliegue a nivel mundial de IPv6 para desplazar al protocolo IPv4, es consecuencia de su diseño orgánico.

1.7. Gestión de tiempos

El proyecto de investigación se comenzó en diciembre del 2019. El plan de trabajo inicial se puede observar en detalle en el anexo 1. Este plan ha sido ajustado durante la ejecución de la investigación. Para la planificación inicial se definieron ocho etapas que se realizarían en serie. Sin embargo, a medida que avanzó la investigación, algunas etapas fueron modificadas, ajustándose a nuevas necesidades que surgieron, teniéndose que realizar en paralelo para seguir avanzando. El motivo de cambio de enfoque secuencial a paralelo fue porque durante la investigación surgieron tareas adicionales que no dependían de otras que se podían realizar en paralelo y así avanzar con mayor celeridad en la investigación. Por ejemplo, en la etapa tres se planificaba entrevistar únicamente a tres organizaciones (ANTEL, Telefónica Uruguay y SeCIU). Sin embargo, avanzada la investigación se encontró que para la etapa siete, en la que se buscaba investigar el contexto que planteaba Uruguay para el desarrollo de innovación en IPv6, era enriquecedor ampliar la cantidad de entrevistas sumando a la URSEC y AGESIC, como instituciones relacionadas con el gobierno. Este tipo de ajustes han sido frecuentes, ya que al ir avanzando en la investigación se encontraron nuevos campos para indagar, por ende, varias etapas fueron modificadas. En resumen, fue necesario modificar varias etapas, para sumar nuevos campos a la investigación y los tiempos definidos para cada etapa no fueron exactamente los definidos originalmente. Por esta razón en términos generales, si bien hubo que ajustar y sumar nuevas tareas, el plan original de la investigación no varió sustancialmente.

Capítulo 2

Bosquejo del estado de arte y marco conceptual

Este capítulo presenta el bosquejo del estado del arte sobre la implementación de IPv6, el concepto, las métricas y las iniciativas con relación a la innovación, relevantes para esta propuesta de tesis.

2.1. Sobre el concepto de innovación

En la siguiente sección se exploran los diferentes conceptos de innovación que han surgido desde su origen. En particular, se profundizan los conceptos más relevantes y aplicables a esta investigación. Se estudian los factores técnicos y psicosociales.

El concepto de innovación surge con Joseph Schumpeter en su obra “Teoría del Desarrollo Económico”, publicada en 1911 [6]. Schumpeter establece que las invenciones e innovaciones son un factor clave en el crecimiento económico. Además, indica que la innovación es un factor fundamental para el desarrollo empresarial y el crecimiento económico de cada país, mencionando que los países que más invierten en innovación e investigación son los que mayor riqueza alcanzan. En 1934, Schumpeter define la innovación como “un proceso de destrucción creativa a través del cual las nuevas tecnologías sustituyen a las antiguas, que permite que la economía y los agentes económicos evolucionen. Es la forma en que la empresa administra sus recursos a través del tiempo y desarrolla competencias que influyen en su competitividad” [6].

Para el filósofo austríaco Peter Drucker ¹, “la innovación sistemática consiste en la búsqueda, organizada y con un objetivo, de cambios y en el análisis sistemático de las oportunidades que ellos pueden ofrecer para la innovación social o económica” [7].

El Department of Trade and Industry (DTI) del Reino Unido adoptó en el 2004 la definición de innovación: “Innovación es explotar con éxito nuevas ideas”.

Por otra parte, el diccionario de la Real academia española define la innovación como “Creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado” [8].

Partiendo de estos conceptos, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) describe en el Manual de OSLO una de las definiciones de innovación que se utiliza mayoritariamente, que indica: Innovación “...es la introducción de un producto (bien o servicio) o de un proceso, nuevo o significativamente mejorado, o la introducción de un método de comercialización o de organización nuevo aplicado a las prácticas de negocio, a la organización del trabajo o a las relaciones externas...” [9].

2.1.0.1. Importancia del área social en la innovación

Es importante tener en cuenta que la innovación es un arte social, sucede cuando las personas interactúan unas con otras [10]. Las personas son el centro de cualquier proceso de innovación, sin su participación la innovación no es posible. Por lo tanto, la gestión de la innovación es en gran parte un proceso de gestión de las personas. Es por eso que el papel de los líderes es sumamente importante para poder implementarla. Los líderes deben trabajar con diligencia para eliminar las barreras que se presentan obstaculizando la creatividad y el desarrollo de la innovación. También es necesario tener presente que la innovación puede ser costosa, tanto en términos de tiempo y dinero, por lo cual es importante utilizar los recursos de manera eficiente.

Se busca implementar cambios significativos en el proceso, en el producto, o bien en la organización con el fin de mejorar los resultados mediante la aplicación de nuevos conocimientos y tecnología que puedan ser desarrollados.

¹Peter Drucker fue un filósofo austríaco considerado una de las figuras intelectuales más prominentes del siglo XX. Es considerado el padre fundador del management. Introduce el concepto de trabajador del conocimiento e incide en la innovación y el espíritu emprendedor. Habla de una nueva disciplina que puede ser enseñada y aprendida: la innovación.

Con estas definiciones se puede relevar que el despliegue de IPv6 depende de las capacidades de los líderes de cada organización para poder identificar que realmente vale la pena invertir en innovación, más allá del riesgo que esto puede significar. No todas las organizaciones están dispuestas a asumir este riesgo, teniendo en cuenta que en el caso de IPv6, no se verán resultados beneficiosos en forma inmediata. IPv6 es un servicio invisible para el usuario final y significa un riesgo en la calidad de los servicios durante el período de implementación, como la adopción de cualquier nueva tecnología.

2.1.1. Tipos de innovaciones

La innovación se puede clasificar según el grado de innovación como [11]:

- **Innovación radical**
Este tipo de innovación supone la ruptura integral con lo establecido previamente. En este ámbito se generan nuevos productos, procesos, tecnologías, diseños y metodologías.
- **Innovación incremental**
Consiste en la introducción de pequeñas modificaciones que permiten perfeccionar un servicio o un producto sin cambiar sustancialmente su esencia.

También se puede clasificar la innovación según su naturaleza:

- **Innovación tecnológica**
Cuando lo que genera el cambio es la aplicación del conocimiento científico o tecnológico.
- **Innovación comercial**
Está relacionada con el marketing, cuando lo que genera el cambio es el producto o servicio (por ejemplo: sistemas de distribución, formas de comercialización, etc.)
- **Innovación organizativa**
Este tipo de innovación se genera cuando la evolución de una compañía se basa en un mejor aprovechamiento de los recursos (humanos, materiales y financieros).

Finalmente, se puede clasificar la innovación de acuerdo a su aplicación:

- **Innovación de producto**
Este tipo de innovación se produce cuando se incorpora un nuevo producto o servicio mejorado. Podría ser por aportar características superiores o bien por ofrecer nuevas funcionalidades.
- **Innovación de proceso**
Se produce cuando se incorporan nuevas técnicas, implementación de sistemas informáticos que permitan reducir costos, mejorar la calidad del producto u optimizar la producción.
- **Innovación organizativa**
Se genera cuando los cambios se relacionan con el diseño, promoción o precios.

En el caso de IPv6 se podría clasificar como una innovación incremental en el sentido que IPv4 no ha dejado de existir, sino que el cambio a IPv6 significa una lenta transición que ha comenzado hace más de 30 años y todavía parecería subsistir por unos años más. Se han creado mecanismos de transición que han permitido la convivencia de ambos protocolos de forma de que IPv6 no signifique un cambio radical. Luego, con lo que se refiere a la naturaleza de la innovación y su aplicación, se observa que es una innovación tecnológica de producto, ya que sus cambios implican modificaciones en el protocolo de comunicación de datos digitales clasificado funcionalmente en la capa de red según el modelo internacional Open System Interconnection (OSI).

2.1.2. Índice mundial de innovación

Cada año la Universidad de Cornell, Institut Européen d'Administration des Affaires (INSEAD) y la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) proporcionan datos con respecto al índice de innovación a nivel mundial¹, clasificando los resultados en innovación de casi 130 economías de todo

¹El índice de Innovación Global incluye dos subíndices: el Subíndice de Entrada de Innovación y el Subíndice de Salida de Innovación. El primer subíndice se basa en cinco pilares: instituciones, capital humano e investigación, infraestructura, sofisticación del mercado y sofisticación empresarial. El segundo subíndice se basa en dos pilares: resultados de conocimiento y tecnología y resultados creativos. Cada pilar se divide en sub pilares y cada sub pilar se compone de indicadores individuales.

el mundo, sobre la base de más de 80 indicadores [12]. El Índice Mundial de Innovación se ha convertido en una referencia de primer orden para medir los resultados de un país en materia de innovación, contribuyendo a mejorar los parámetros de la innovación y para generar estrategias nacionales eficientes en materia de innovación.

En el reporte del 2019, como se observa en la Figura 2.1, los países que presentan el índice de innovación más alto son: Estados Unidos, Suiza, Singapur, Israel y Suecia. En América Latina los países que encabezan el ranking son: Chile, Costa Rica y México.

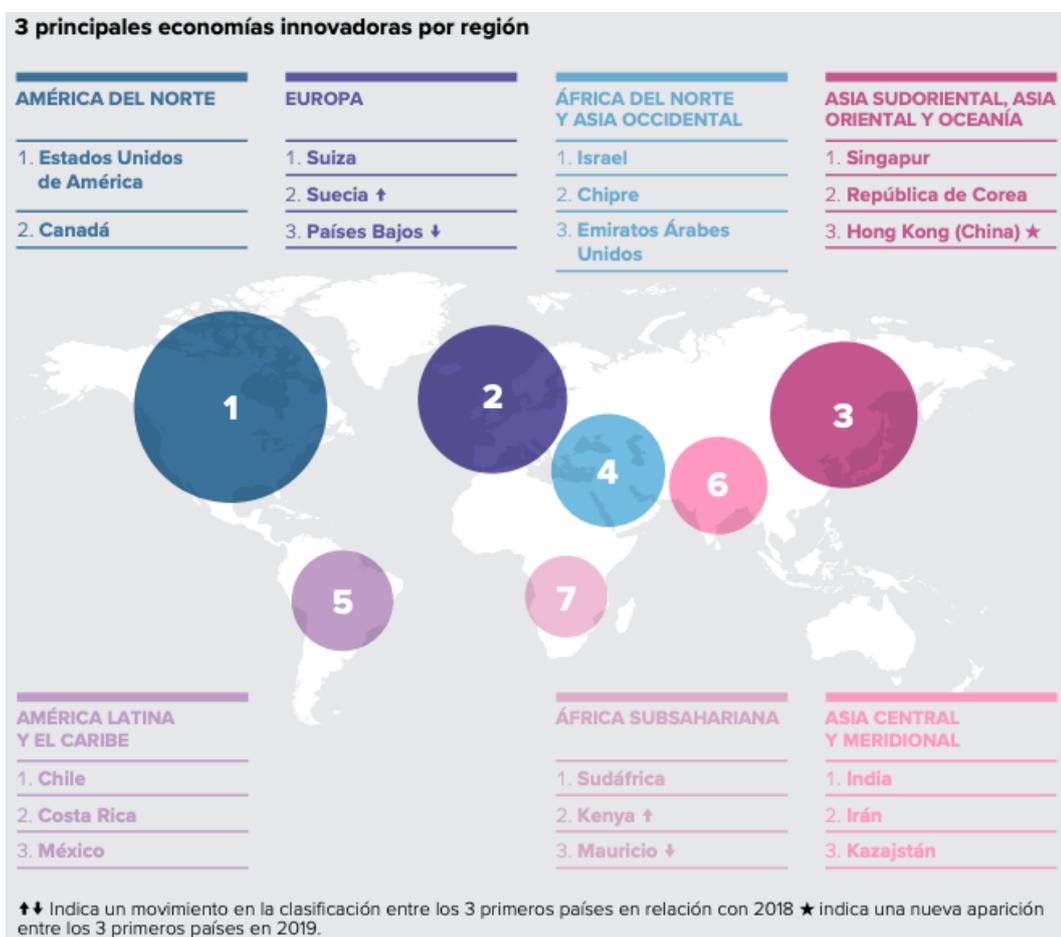


Figura 2.1: Gurry, Francis (2019). The Global Innovation Index 2019. Principales economías innovadoras en cada región. Recuperado de https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2019chapter1.pdf

Algunas de las principales conclusiones del reporte indican que:

- En medio de la desaceleración económica la innovación crece en todo el mundo. Sin embargo, nuevos obstáculos plantean riesgos a la innovación

mundial.

Si bien el crecimiento económico se está estancando y el aumento de la productividad está en sus cifras más bajas, la innovación sigue creciendo. Tanto economías desarrolladas como economías en desarrollo promueven la innovación para lograr el desarrollo social y económico. El gasto mundial en Investigación y Desarrollo (ID) ha crecido más rápidamente que la economía mundial.

- Los recursos y los resultados de la innovación siguen estando concentrados en muy pocas economías y persiste la brecha mundial en materia de innovación. La inversión en innovación se concentra principalmente en determinadas regiones, principalmente en Asia, mientras que América del Norte, Europa y Oceanía también intentan alcanzarlo.
- Los principales polos de ciencia y tecnología se encuentran en los EE.UU., China y Alemania, como se observa en la figura 2.2. China ha crecido como polo de la tecnología, así como también el área de la tecnología médica. Además, se observa que los principales polos (donde se concentra la mayor cantidad de desarrollo en ciencia y en tecnología) se encuentran en la costa de Estados Unidos, junto con Europa y China, y en sus alrededores repercute y se concentra la mayor área de dispersión (en el gráfico se indica como ruido).

En la figura 2.3 que ilustra el índice de innovación en Uruguay, se muestra que Uruguay obtuvo un puntaje (entre 0 y 100) de 34.32. Este puntaje posiciona a Uruguay en el número 62 del ranking mundial de innovación. Por otra parte, Suiza alcanzó el primer lugar, tiene un puntaje de 67.24 y Yemen quedó en último lugar, con un puntaje de 14.49. Haciendo una evaluación del puntaje que obtuvo Uruguay durante el período desde el 2011 al 2019 fue de 35.03 puntos con un mínimo de 34.2 en el 2011 y un máximo de 38.1 en el 2013. [13].

En la región de Latinoamérica y el Caribe, todos los países se encuentran por debajo de la posición número 50 en el ranking mundial. Dentro de la región los países mejor posicionados son: Chile, Costa Rica, México, Uruguay y Brasil.

2.1.3. Innovación en Uruguay

El contexto de un país es un factor que afecta la gestión de la innovación. La innovación se verá beneficiada u obstaculizada según las condiciones que

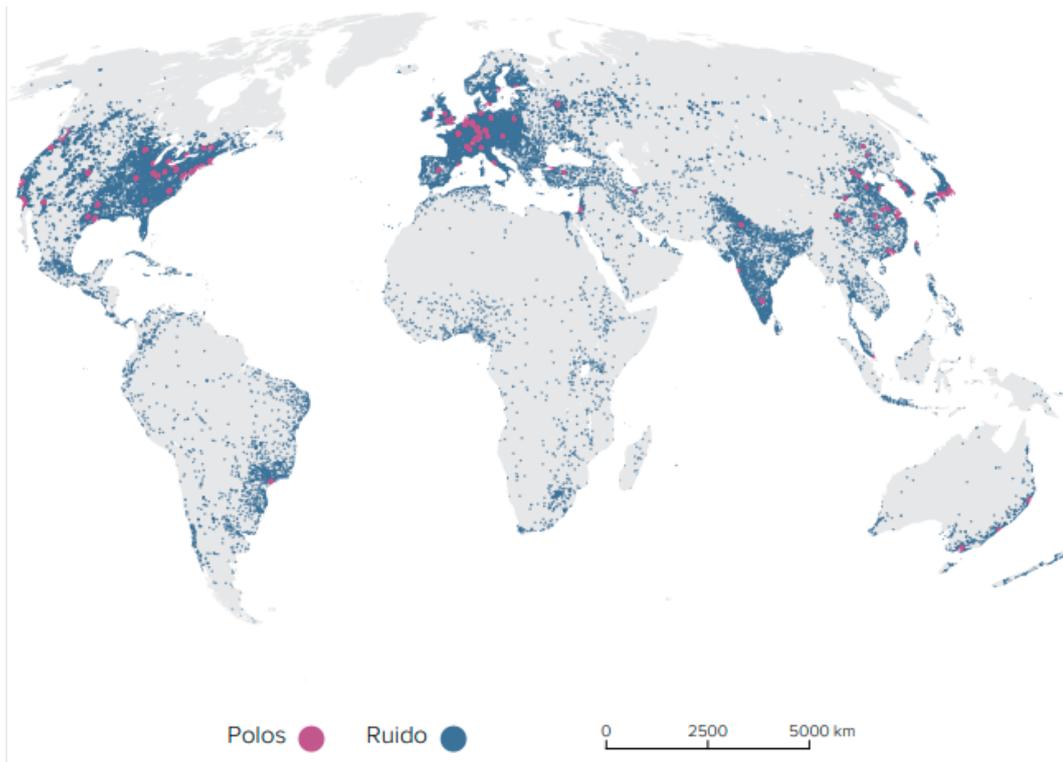
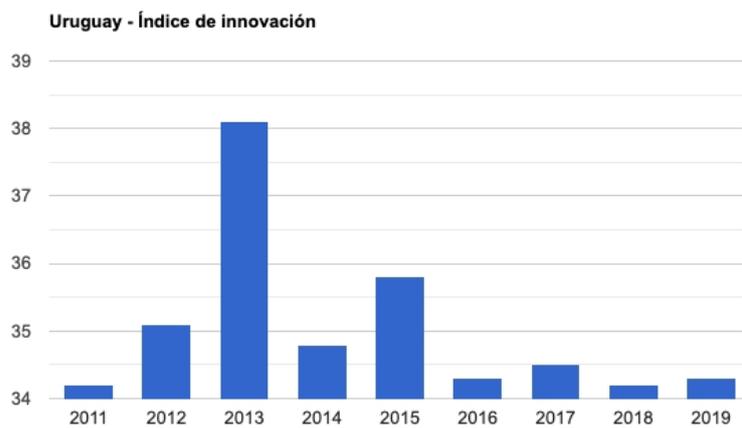


Figura 2.2: Gurry, Francis (2019). The Global Innovation Index 2019. Polos de Tecnología. Recuperado de https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2019-chapter1.pdf



Source: TheGlobalEconomy.com, La Universidad de Cornell, INSEAD y la OMPI

Figura 2.3: Universidad de Cornell, INSEAD y la OMP (2019). Uruguay: Índice de innovación. Recuperado de https://es.theglobaleconomy.com/Uruguay/GII_Index/

presente cada país. Algunas de esas condiciones son: el financiamiento para investigaciones, la cultura de las personas para adaptarse a los cambios, la capacidad de las personas para buscar nuevas soluciones en forma continua, la disponibilidad de recursos (económicos y humanos) para gestionar la innovación, entre otros. Otra condición importante es el arreglo institucional existente, esto se refiere a las relaciones entre la academia, los políticos y las empresas. Para que haya un desarrollo exitoso de una nueva tecnología estos tres actores deben interactuar de manera coordinada.

Al analizar la situación de cómo afecta el contexto de Uruguay a la gestión de la innovación desde un punto de vista más micro, a nivel de institución, se identifican diferentes variables de contexto que inciden [14]. Una de ellas es el tamaño de una organización, las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) difieren en términos de accesibilidad a los recursos; no tienen la facilidad de acceder a todo tipo de recursos necesarios. Otra variable de contexto es el Sistema Nacional de Innovación (SNI), cada SNI implica un contexto distinto de acuerdo al grado de apoyo que el gobierno brinde a la innovación. Otra variable de contexto es el grado de novedad de la innovación, las innovaciones radicales requieren una organización y gestión más rápida y eficiente a las innovaciones incrementales. El papel de agentes externos (como por ejemplo, reguladores) afecta fuertemente el ritmo y la dirección de la actividad innovadora. Finalmente, el ciclo de vida de la tecnología es otra variable de contexto determinante. Según la etapa del ciclo de vida tecnológica en la que esté, determinará la estrategia que se deberá tomar.

Los factores que obstaculizan la innovación se pueden agrupar en tres:

- Factores microeconómicos o empresariales
Se refiere a falta de personal capacitado, rigidez organizacional, riesgos que puede implicar la innovación y la duración del período de retorno de la inversión.
- Factores mesoeconómicos o de mercado
Es determinado por el reducido tamaño del mercado, las pocas oportunidades tecnológicas que se presentan, las dificultades de acceder a financiamiento y las pocas posibilidades de cooperación entre las organizaciones pares.

- Factores macroeconómicos

Se refiere a la insuficiente información sobre mercados y tecnologías, escaso desarrollo de instituciones relacionadas con la ciencia y la tecnología, infraestructura inadecuada e inestabilidad macroeconómica.

La industria de Uruguay presenta condiciones particulares que afectan en diferentes dimensiones el desarrollo de la innovación. En la industria, los principales obstáculos que se presentan son: el reducido tamaño del mercado, el período de retorno de la inversión, las dificultades de acceso al financiamiento y las escasas oportunidades tecnológicas del sector.

En el Portal de Ciencia, Tecnología e Innovación (PRISMA) que lanzó la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) se presentan los principales indicadores de Ciencia, Tecnología e Innovación en Uruguay ¹. De los datos que se presentan, se puede observar que en el período actual el 26,39 % de las empresas son consideradas innovadoras [15], de las cuales un 15,10 % tienen un alcance máximo de innovación a nivel de empresa, un 9,10 % a nivel de mercado local y un 2,19 % a nivel de mercado internacional.

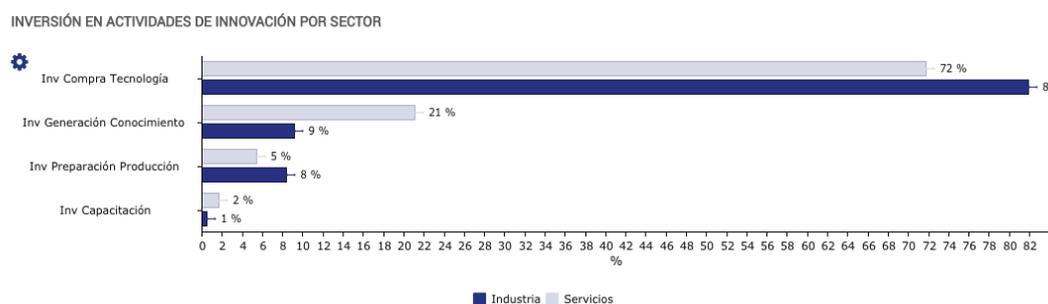


Figura 2.4: PRISMA (2019). Inversión por sector. Recuperado de <https://prisma.org.uy/eportal/web/anii-prisma/inicio>

Luego, en la figura 2.4 se observa que la distribución de la inversión en actividades de innovación por sector, se distribuye mayoritariamente para la compra de tecnología, luego bastante por debajo, en generación de conocimiento, en preparación de producción y finalmente en capacitación. Si bien a nivel mundial se observa un crecimiento de la innovación, es importante destacar, como lo indica el Reporte de Innovación Global, que ese crecimiento se

¹Los datos sobre el comportamiento innovador de las empresas uruguayas, así como sus principales características se obtienen a partir de la Encuesta de Actividades de Innovación de ANII. Dicho relevamiento es realizado por el INE de forma trianual desde 1998. Incluye una muestra de 2400 empresas aproximadamente con más de 5 personas ocupadas de la Industria Manufacturera y de algunos servicios seleccionados.

concentra en determinadas regiones y Uruguay no es específicamente la más floreciente. Además, el mercado de Uruguay presenta algunas condiciones que no favorecen el desarrollo de la innovación, como ser: escasa inversión en innovación, pocos recursos disponibles (humanos y financieros) y la necesidad de atender otras necesidades prioritarias.

2.2. Evolución de Internet en cantidad de usuarios y tráfico

Internet tiene solamente 50 años de vida y ha alcanzado un 51% de la población mundial [16]. Según el informe Internet Trends, realizado por Mary Meeker, que analiza las tendencias en Internet, indica que 3800 millones de personas ya pueden acceder a Internet. El mayor porcentaje de usuarios conectados se concentra en Asia Pacífico con un 53%, luego Europa con un 15%, le siguen África y oriente próximo juntos con un 13% y finalmente América Latina y el Caribe y América del Norte con un 10 y 9% respectivamente. Es importante destacar que además de la cantidad de usuarios conectados, el volumen de datos también ha crecido en un 13% desde el 2018 y se estima que para el 2025 crezca hasta un 32%.

A continuación se observa en la figura 2.5 como ha ido aumentando la evolución de asignaciones IPv4 desde el 2002. Esto se explica por el pronunciado crecimiento de la necesidad de direcciones IP para brindar servicio a la creciente población de usuarios en Internet, cada vez con más de un dispositivo personal conectado.

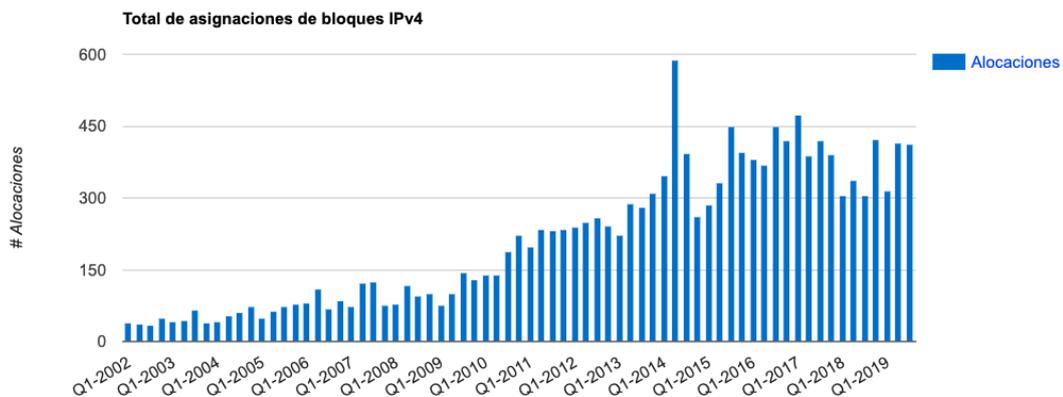


Figura 2.5: LACNIC (2020). Asignaciones de bloques IPv4 en la región de Latinoamérica y el Caribe. Recuperado de <https://www.lacnic.net/agotamiento>

2.3. Métricas para la gestión de la innovación

En el trabajo sobre Modelos explicativos del proceso de innovación tecnológica en las organizaciones [17], se describen algunos modelos explicativos del proceso de innovación tecnológica en las organizaciones. Los modelos presentados son: el Modelo Lineal (Modelo de Empuje de la Tecnología y Tirón de la Demanda), Modelo por Etapas, Modelos Interactivos o Mixtos, Modelo Integrado, Modelo de Red y Modelo de la London Business School.

- Modelo Lineal (Modelo de Empuje de la Tecnología)
Según esta visión la innovación se presenta como un modelo lineal y secuencial que inicia con la investigación básica, seguida por la investigación aplicada, posteriormente el desarrollo del prototipo, para luego culminar con la producción y comercialización de las innovaciones. Este modelo presenta algunas limitaciones como la creencia de que el proceso de innovación tecnológica debe comenzar obligatoriamente por la investigación básica. Sin embargo, desde la experiencia empírica existen numerosas innovaciones que pueden surgir de la utilización de los resultados de investigaciones aplicadas existentes.
- Modelo Lineal (Tirón de la Demanda)
Incorpora la necesidad de los consumidores, quienes se convierten en el principal desencadenante del proceso, aunque la investigación y el desarrollo siguen jugando un papel reactivo en el proceso de innovación, manteniendo un modelo lineal y secuencial. Este modelo sigue planteando debilidades como ser: en ciertos casos podría no requerirse de determinadas fases del proceso para generar innovaciones y en otros casos la secuencia podría ser distinta, lo cual no se refleja en el modelo secuencial.
- Modelo por etapas
Es similar al modelo anterior, ya que mantiene una forma secuencial, lo que agrega es que presenta el proceso de innovación en términos de las áreas involucradas de la empresa. Una idea se convierte en una entrada para el departamento de I+D, de ahí pasa al diseño, ingeniería, producción, mercadeo y finalmente se obtiene la salida del producto.
- Modelos Interactivos o Mixtos

En el trabajo sobre Modelos explicativos del proceso de innovación tecnológica en las organizaciones [17] se indica que algunas investigaciones realizadas han demostrado que los modelos lineales para gestionar los procesos de innovación son excesivamente simplificados y no explican aspectos importantes que intervienen. La base fundamental del interactivo o mixto es que parte de las ideas que desencadenan el proceso de innovación no proceden necesariamente del área de investigación y desarrollo, sino que pueden venir de cualquier área de la organización: ingeniería, ventas, dirección, entre otros. Uno de los principales aportes de este modelo, es que las ideas que llevan a la innovación tecnológica provienen del contacto constante entre las diferentes áreas de la organización.

- Modelo Integrado

Se considera que las fases de la innovación, sobre todo desde el punto de vista operativo o de gestión, no deben ser consideradas como procesos secuenciales. Deben observarse como procesos solapados, simultáneos como consecuencia de la necesidad de acortar el tiempo de desarrollo del producto para introducirlo al mercado. Las etapas definidas que se retroalimentan en este modelo son: mercadeo, investigación básica y aplicada, desarrollo de productos, ingeniería de producción, componentes (proveedores) y producción. Este modelo fue desarrollado y aplicado por la industria automotriz de Japón, en las empresas Toyota y Nissan. Define que la gestión eficiente de este modelo implica el desarrollo de los siguientes factores de éxito: un proceso disciplinado sobre la base de la aplicación sistemática de las técnicas de planificación y control, un equipo de proyecto multifuncional que trabaja de forma coordinada en todos los aspectos del producto a medida que el desarrollo avanza, elimina las barreras entre las diferentes áreas funcionales de la empresa, responsabilidad compartida por el equipo y una buena capacidad para resolver conflictos.

- Modelo de red

Plantea que la innovación es generalmente un proceso distribuido en red que se caracteriza por la utilización de avanzadas herramientas electrónicas que permite a la organización incrementar la velocidad y la eficiencia en el desarrollo de nuevos productos y procesos, tanto internamente, co-

mo externamente entre la red de proveedores, clientes y colaboradores externos. Plantea un mecanismo de aprendizaje en red a largo plazo basándose en a la colaboración de proveedores, competidores, equipo dentro y fuera de la organización.

- Modelo de la London Business School

Se basa en que la aceptación de una innovación está íntimamente relacionada con las buenas prácticas dependiendo de cuatro etapas medulares. Es un modelo sistémico de gestión de la innovación que expone las tareas clave necesarias para gestionar la innovación de forma eficiente: generación de nuevos conceptos, desarrollo de nuevos productos o servicios, innovación en los procesos y la adquisición de tecnología. Estas etapas necesitan cumplir con tres condiciones: talentos humanos y financieros, uso de los sistemas y las herramientas adecuadas y el apoyo de la gerencia de la organización. Se considera que la innovación no es un proceso secuencial (como proponen los modelos explicados previamente), sino que es un proceso complejo de creatividad e interacción de las fuerzas del empuje tecnológico con el arrastre del mercado, y que puede emerger en cualquier área de la organización.

En el trabajo sobre Modelos explicativos del proceso de innovación tecnológica en las organizaciones [17] se concluye que no existe un consenso en el discurso científico para definir las etapas del proceso de innovación tecnológica, ya que las innovaciones no siguen un único patrón sistémico y solo el comportamiento humano social ha sido determinante y común en la trayectoria evolutiva como concepto teórico. También se observa que estos modelos han sufrido un proceso evolutivo desde el modelo lineal (1985) hasta el modelo de la London Business School (1996). Cada modelo presenta sus ventajas, desventajas y aportes que han contribuido en el tiempo a la búsqueda de un modelo de gestión de la innovación sin embargo, no hay un modelo único para definirla.

Para el marco de esta investigación se busca un modelo que logre contemplar la mayoría de los aspectos hallados durante la evolución de la investigación de los distintos modelos sobre la gestión de la innovación. Estos aspectos son: que no es un proceso secuencial o lineal, que la innovación puede surgir de cualquier área de la organización, que la innovación está profundamente re-

lacionada con las buenas prácticas dentro de la organización. El modelo que cumple con la mayoría de estos aspectos y que es uno de los modelos menos antiguos es de la London Business School. Por estas razones se selecciona este modelo para la investigación.

2.4. Propuesta de IPv6 en sus inicios

Desde la creación de IPv6 en la década de los 90s se han publicado varios artículos sobre la importancia de su despliegue y las ventajas ofrece:

- Un incremento en la cantidad de direcciones IP disponibles.
IPv6 expande la cantidad de direcciones disponibles de 32 a 128 bits; de 4 mil millones a 340 billones de billones de billones (sextillones) de direcciones IP, como indican Cicileo, Gagliano, OFlaherty, Olvera, Palet, Rocha, y Vives [18].
- Mayor seguridad.
IPv6 integra (Internet Protocol Security) (IPSec) para autenticar y cifrar paquetes de datos. Mientras que en IPv4 es opcional, en IPv6 es obligatorio, de forma de lograr mayor seguridad que en IPv4, como menciona Luján [19].
- Configuración automática.
IPv6 brinda configuración automática, mientras que IPv4 tenía configuración manual, de acuerdo a lo que establece ORACLE [20].

Actualmente, podemos observar que cada una de estas ventajas podrían ser cuestionables:

- Un incremento en la cantidad de direcciones IP disponibles.
Si bien es cierto que IPv6 incrementa la cantidad de direcciones IP disponibles, las nuevas formas de asignación causan una nueva desventaja: mayor desperdicio. Lo que se diseñó como una ventaja (tener una mayor cantidad de direcciones IP), podría perder sentido si las organizaciones asignan sin justificar la necesidad de recursos, desperdiciando direcciones IP. De acuerdo con lo que establece LACNIC [21], en IPv6 se recomienda realizar asignaciones de bloques prefijo /64 como mínimo.

- Mayor seguridad.

La mayoría de aplicaciones y dispositivos en IPv6 deberían soportar IP-Sec [22] (de acuerdo a lo definido en el RFC 6434). Sin embargo, surgieron nuevas debilidades de seguridad. Por ejemplo, se introdujo un problema no existente en IPv4: correlación de actividades en el espacio (host-tracking), como indica Gont [3].

- Configuración automática.

Si bien podría ser valioso desde la perspectiva de un desarrollador o un académico la configuración automática de IPv6, para el usuario final la configuración de IPv4 ya se realizaba en forma automática. Por esta razón, para el usuario final esto no aporta valor.

Por estas razones, al identificar que las ventajas que planteaba el protocolo en sus comienzos podrían ser cuestionables, es fundamental destacar que la necesidad real de implementación de IPv6 subyace en el agotamiento de las direcciones IPv4. El 15 de febrero LACNIC (2017) anunció el inicio de la fase final de agotamiento IPv4. Se comenzó a utilizar el último bloque de direcciones IPv4 disponible para esta última etapa de agotamiento. Adicionalmente, la cantidad de dispositivos que se conectan a Internet ha crecido en forma exponencial en los últimos años con la llegada de Internet of Things (IoT), lo cual se refleja en una mayor necesidad de direcciones IP. Por estas razones (el agotamiento de IPv4 y el crecimiento exponencial de la necesidad de direcciones IP) es que algunas organizaciones comenzaron a trabajar en concientizar a la comunidad de Internet (ISP y usuarios finales) sobre esta situación para que puedan anticiparse a satisfacer la necesidad de direcciones IP que tendrán.

2.5. Iniciativa para el despliegue de IPv6

En la siguiente sección se describen las acciones que han realizado diversos tipos de organizaciones para apoyar el despliegue de IPv6. Se estudian acciones de organizaciones internacionales, de algunos países de la región y de gobiernos de otras regiones, que han servido como referencia.

2.5.1. Apoyo de organizaciones internacionales para el despliegue de IPv6

Varias organizaciones, cuya misión es colaborar con el crecimiento de Internet, han organizado actividades de entrenamiento para capacitar a la comunidad técnica sobre la implementación del nuevo protocolo. También han liderado iniciativas en el ámbito de las políticas para promover la sensibilización sobre IPv6, como indica Internet Society (ISOC) [23]. Por ejemplo, en el 2005 LACNIC organizó un recorrido por diez países de la región para capacitarlos en IPv6, como mencionan Cicileo, Gagliano, O'Flaherty, Olvera, Palet, Rocha, y Vives [18]. ISOC también ha realizado actividades para fomentar la adopción de IPv6 a través de fuentes de información y apoyando iniciativas como el Día Mundial de IPv6.

2.5.2. Iniciativas de algunos países de la región para el despliegue de IPv6

Un ejemplo importante es el del gobierno de Colombia, quien ha tomado un rol activo en el despliegue de IPv6 en su país. Este gobierno está impulsando un plan nacional para que todas las entidades públicas ajusten sus infraestructuras de Tecnologías de la información a IPv6. Para eso, en el año 2017, el (Ministerio de Tecnologías de la Información) (MinTIC) dictó una resolución para que las organizaciones públicas y privadas de ese país adopten IPv6 en sus redes, con un plan detallado, que establece un plazo máximo de implementación para las entidades públicas, como publica el Ministerio de Tecnologías de la información y las comunicaciones, el documento fue actualizado en febrero del 2021 [24]. Otra iniciativa del MinTIC de Colombia fue elaborar una documentación útil para contextualizar y ampliar los conocimientos sobre el protocolo IPv6. Entre ellos se destacan la Guía de Transición de IPv4 a IPv6 para Colombia actualizada en febrero del 2021 también [25]. Actualmente, Colombia tiene menos de 1 % del tráfico de Internet en IPv6 pero ha demostrado un crecimiento sostenido desde hace 18 meses.

En el año 2017, el presidente de Perú ordenó un plan de transición hacia IPv6, con una estrategia de implementación y plazos que deben cumplir las entidades públicas peruanas. Estas medidas han abordado temas como la eficiencia de las redes públicas, la licitación de equipos habilitados con IPv6, el

gobierno electrónico, entre otros. Estas iniciativas generan un cambio de percepción sobre IPv6, tanto de los gobiernos como en las organizaciones privadas, haciéndolo ver como una decisión estratégica para el desarrollo de futuras innovaciones en el país.

2.5.3. Iniciativas de gobiernos de otras regiones para el despliegue de IPv6

Así como algunos gobiernos de la región de Latinoamérica han tomado acciones, países de otras regiones también lo han hecho. Los gobiernos son actores de gran influencia para el crecimiento de Internet. Por lo cual, liderar a través del ejemplo basándose en políticas desarrolladas en cooperación con el sector privado juega un papel importante en el despliegue de IPv6. En el 2010 la Comisión Europea se reunió en Bélgica y tenía como objetivos: evaluar el despliegue de IPv6 en Europa y global; y planificar acciones necesarias para ampliar la adopción de IPv6, tales como incentivar a la administración pública, a los usuarios y a las múltiples partes interesadas para tomar pasos decisivos para acelerar la implementación de IPv6. RIPE NCC [26] publica que varios países implementaron acciones significativas, como: Suecia, España, Alemania, entre otros.

Nuevamente se observa que a nivel internacional también se están realizando esfuerzos desde gobiernos para promover la implementación de IPv6. Se busca promover el despliegue desde el ejemplo como decisión estratégica de los países.

2.6. Otros intereses actuales

A pesar de todo el trabajo de difusión que se ha realizado desde el comienzo de IPv6, IPv4 aún es ampliamente utilizado con la ayuda de métodos de transición y otras alternativas como Network Address Translation (NAT). Si bien es claro el agotamiento de las direcciones IPv4, algunos actores perciben otros desafíos como resultado de la implementación de IPv6: costos, complejidad, modificación de los productos existentes, cambios operativos, dificultad en aceptar cambios que impliquen riesgos para la operativa de las organizaciones, establecer un plan eficiente para la transición, convencer al usuario final, entre otros. Estas implicaciones han retrasado la implementación de IPv6.

Adicionalmente, hay una pérdida de interés y de presión por parte de los actores involucrados. Hoy en día los usuarios finales se conforman con el uso de las aplicaciones populares como Instagram, Pinterest, Facebook, etc. y no demandan más que eso. IPv4 soporta el uso de estas aplicaciones, por lo tanto, el uso de IPv6 para el usuario final no es relevante y probablemente, no sea quien va a exigir a su ISP que lo implemente. Existen países que asignan la misma dirección IPv4 a varios usuarios y eso no afecta los servicios mencionados. Por esta razón el usuario final no es quien ve la necesidad del cambio a IPv6.

Capítulo 3

Metodología

En esta sección se describen los métodos utilizados en la investigación y se argumenta su selección. En primer lugar se realiza una descripción general de las fuentes de datos utilizados. Luego se describe y se explican las métricas seleccionadas para la selección de actores y para valorar el grado de desarrollo de innovación en la investigación.

3.1. Descripción general y fuentes de datos

La investigación tiene una primera etapa la recolección de información sobre las principales ventajas que presentó IPv6 en sus comienzos. Luego, se investiga qué tan aplicable es esa información actualmente. Se toma como referencia material de organizaciones que trabajan con el fin de contribuir al desarrollo de Internet, como ser: Registros Regionales de Internet ¹, ISOC, Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN). Además, se relevan estudios sobre el despliegue de IPv6 (por ejemplo estudio de Comisión Andina de Fomento (CAF)). También se realizan entrevistas a profesionales y a organizaciones vinculados con la implementación de IPv6. De esta forma, se obtienen resultados sobre la interrogante de cuán aplicables siguen siendo los objetivos iniciales de IPv6 actualmente.

A continuación se busca seleccionar una muestra representativa de organizaciones influyentes de Internet en Uruguay, para lo cual se define una métrica. Se toma como referencia el informe publicado por la Unidad Reguladora de

¹Un Registro Regional de Internet es una organización responsable por la distribución de direcciones IP a sus asociados y del registro de esa distribución. Cada registro regional tiene definido un alcance geográfico delimitado [27]

Servicio de Comunicaciones (URSEC) [28] en el que se revela la distribución del tráfico entre los actores referentes de Internet de Uruguay. Como resultado de esa métrica se obtienen actores de gobierno, de la academia e ISP. Luego, como parte del trabajo de campo, se realizan entrevistas presenciales, remotas y por intercambio de correo electrónico con estas organizaciones para obtener información de relevamiento del estado de implementación de IPv6 en Uruguay. Las entrevistas completas a las organizaciones: Administración Nacional de Telecomunicaciones (ANTEL), Telefónica Uruguay, Servicio Central de Informática (SeCIU) de Universidad de la República (UdelaR), (Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC) y URSEC se pueden ver en el anexo 2. Para valorar el grado de desarrollo de innovación con relación a la implementación de IPv6 de cada organización, se selecciona la métrica de la London Business School, que se aplica en el capítulo 5.

3.2. Métrica para la selección de actores representativos para el estudio de la implementación de IPv6 en Uruguay

Para la selección de actores representativos acordes para esta investigación, se decide tomar una muestra de distintas áreas para abarcar el escenario completo. Para eso se busca seleccionar algunos actores del área de ISP, luego del área del gobierno y de la academia.

3.2.1. Actores representativos en el sector de los ISP en Uruguay

Uruguay cuenta con condiciones especiales para poder realizar un estudio de este tipo. Uruguay tiene un territorio pequeño (176.215 kilómetros cuadrados), con cerca de tres millones y medio de habitantes. Por esta razón son pocos los actores que determinan los cambios relevantes en este país.

De acuerdo a los datos publicados por URSEC [28], y como se observa en la figura 3.1 el 99,09 % de los servicios de ancho de banda fijo es de usuarios de ANTEL, luego le sigue Dedicado,¹ 0,81 %. Lo cual significa que ANTEL es

¹En el reporte de la URSEC se presentan Dedicado y Enalur por separado. Dedicado

el actor más representativo.

Servicio de banda ancha fijo por operador (junio 2020)

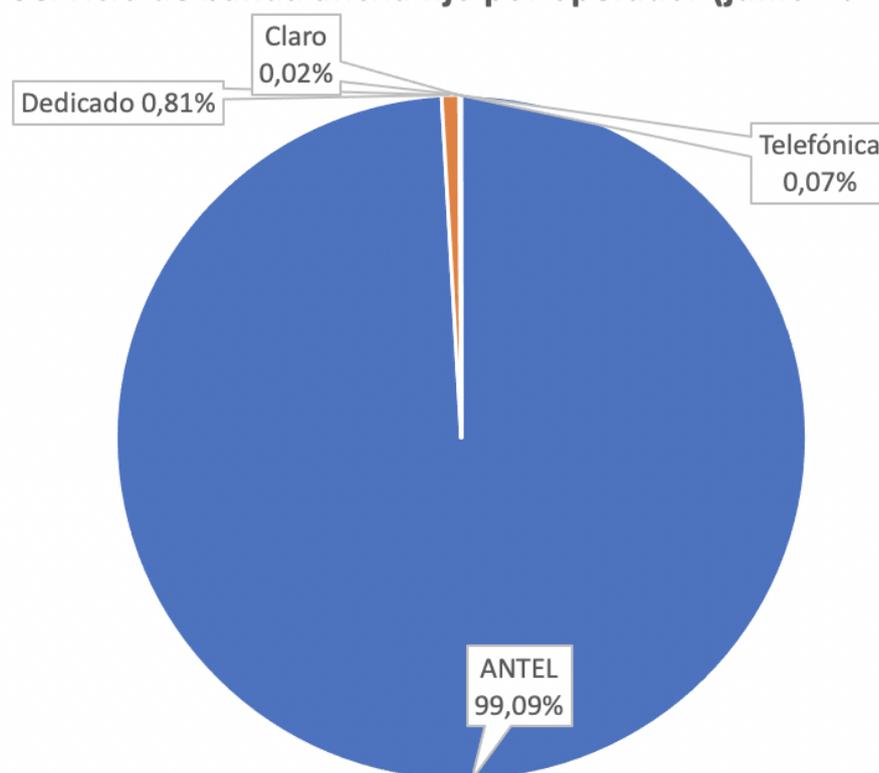


Figura 3.1: Servicios de banda ancha fija por operador (junio 2020)

Luego, el 98 % de los servicios de banda ancha fija es utilizado por el tipo de cliente residencial como se observa en la figura 3.2 . A este les sigue el tipo de cliente empresarial con un 1,9 % y finalmente el gobierno con un 0,4 %. La mayor parte del tráfico de Internet en Uruguay pasa por los servicios residenciales.

Dentro de los servicios residenciales, se observa que el 99,6 % corresponden a ANTEL y el 0,4 % a Dedicado, como se muestra en la figura 3.3. De esta forma se observa que la mayor parte del tráfico de datos pasa por ANTEL.

Por otra parte, dentro de los servicios comerciales, se observa en la figura 3.4 que el 71 % pasa por ANTEL, luego le sigue Dedicado 24 % y Telefónica ¹ 4 %.

es parte de Enalur, para simplificación en esta investigación se muestran ambas fusionadas como Dedicado

¹En el reporte de URSEC Telefónica aparece como Movistar que representa a la empresa internacional Telefónica.

Servicios de banda ancha fija por tipo de cliente (junio 2020)

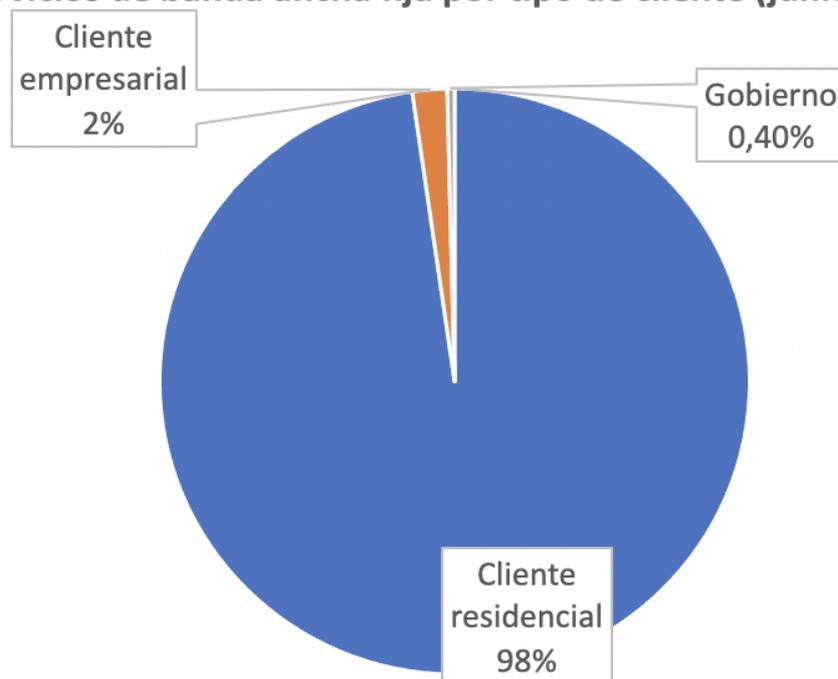


Figura 3.2: Tráfico por tipo de cliente

Además, el 97 % del tráfico de datos de servicios de banda ancha fija corresponde al modo alámbrico y un 3 % inalámbrico. Con respecto a Internet móvil (computadoras y tablets) por operador se observa en la figura 3.5 que ANTEL lidera el mercado con un 89 %, luego le sigue Telefónica con un 9 % y finalmente Claro con un 2 %.

De esta información podemos tomar que ANTEL es el actor más representativo como ISP con respecto al tráfico de ancho de banda en Uruguay. Para el marco de esta investigación se decide tomar como muestra de estudio a la organización ANTEL por tener el mayor porcentaje de tráfico fijo y móvil. Adicionalmente, se decide estudiar otro ISP del área privada, para estudiar otro tipo de plan estratégico con relación a la adopción de la innovación. Se decide estudiar el caso de Telefónica, que es el tercer operador internacional (en cantidad de tráfico) y segundo en Internet móvil (computadoras y tablets) con operación en Uruguay, ya que las estrategias de adopción de la innovación podrían ser diferentes a las de las organizaciones de nuestro país.

Servicio de banda ancha fija residencial por operador (junio 2020)

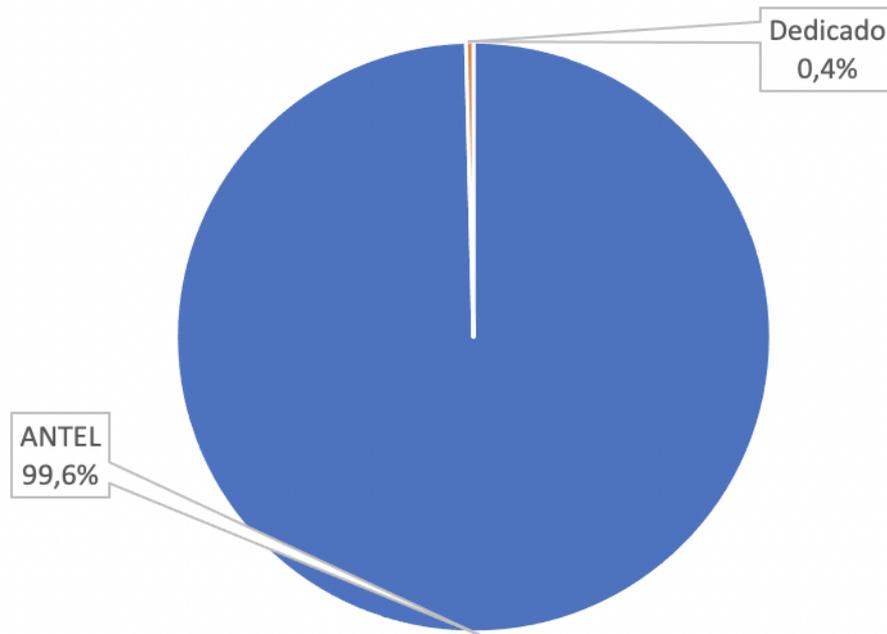


Figura 3.3: Servicio de banda ancha fija residencial por operador

Servicios de banda ancha fija comercial por operador (junio 2020)

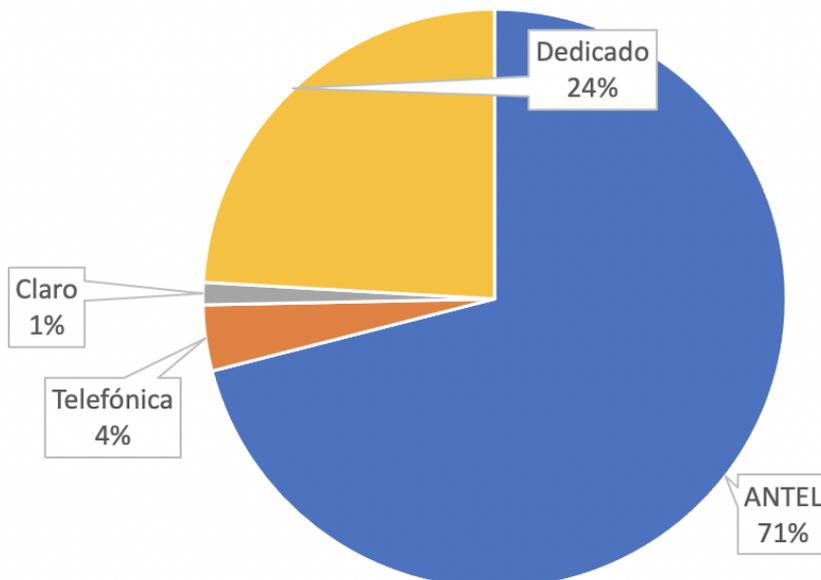


Figura 3.4: Servicio de banda ancha fija comercial por operador

Internet móvil (computadoras y tablets) por operador

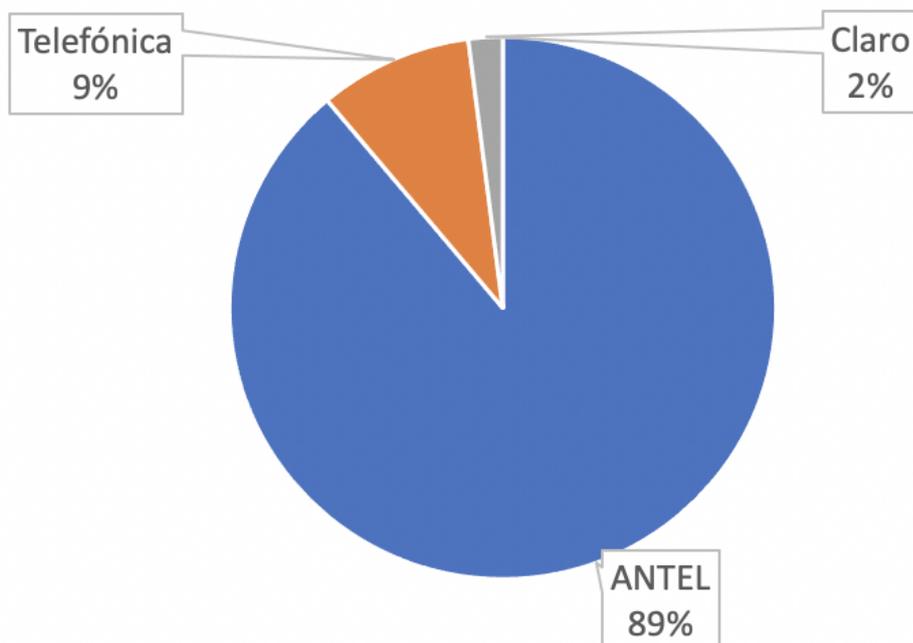


Figura 3.5: Internet móvil (computadoras y tablets) por operador)

3.2.2. Entes de gobierno relacionados con Internet en Uruguay

Otra área representativa para la muestra es el área del gobierno. Los entes de gobierno son entidades que lideran en cuanto a la toma de decisiones, influyen en los cambios del país, y, en este caso particular, en cuanto a la implementación de una nueva tecnología.

Una de las organizaciones gubernamentales de interés es la ANII. La ANII es una agencia de gobierno que promueve la investigación y la aplicación de nuevos conocimientos a la realidad productiva y social del país. Se consultó con esta organización si han realizado o tienen planes de ejecutar acciones con relación al despliegue de IPv6 en el futuro. Sin embargo, respondieron que no han realizado acciones sobre este tema ni lo tienen en su plan para el futuro próximo por el momento, por lo cual se descartó la selección de esta organización para investigar sobre el despliegue de IPv6.

Entre las oficinas de presidencia de la república [29], se identifican ciertas organizaciones de gobierno relacionadas con Internet para poder sumarlas a la muestra:

- URSEC es la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones. Es el organismo público encargado de la regulación y el control de las actividades referidas a las telecomunicaciones y los servicios postales en Uruguay. Desde URSEC se han impulsado acciones para el desarrollo de las telecomunicaciones, razón por la cual se eligió a URSEC como actor representativo para la muestra de esta investigación y de esta manera indagar qué acciones tomaron respecto a la implementación de IPv6.

3.2.3. Academia relacionada con Internet en Uruguay

En el área de la academia se identificó a SeCIU como organización representativa para este estudio. El SeCIU es el Servicio Central de Informática Universitaria responsable de asesorar a las autoridades universitarias sobre esta temática, así como de desarrollar y gestionar la infraestructura informática de la UdelaR relacionada con los emprendimientos institucionales y de brindar asesoramiento y apoyo informático a todos los servicios universitarios. El rol del SeCIU y las decisiones que toma son de gran trascendencia para el área académica y son los que eventualmente entrarán en el mercado. Por esta razón es importante indagar para esta investigación si el SeCIU ha apoyado la implementación de IPv6.

3.2.4. Resumen sobre la metodología para la selección de las organizaciones

Esta sección fundamenta la selección de las organizaciones representativas relacionadas con Internet para la investigación. En el trabajo de campo, se realizan entrevistas a las organizaciones: ANTEL y Telefónica, cubriendo los operadores que brindan el 99,1% de las conexiones de ancho de banda fijo a nivel nacional y 98% de las conexiones de Internet móvil (computadoras y tablets). En forma adicional, para tener un panorama heterogéneo se selecciona como otro ISP a Telefónica para tener una visión de una empresa internacional y así poder evaluar otro tipo de estrategia de innovación. Para completar el resto de áreas de investigación, se selecciona como organización de la academia a SeCIU, ya que es la organización responsable de asesorar a las autoridades universitarias sobre temas de informática. Finalmente, como áreas de gobierno

se selecciona a URSEC y AGESIC por ser los dos entes de gobierno relacionados con Internet.

3.3. Métrica para la Innovación

Para medir la implementación de IPv6 como innovación, se toma una métrica de innovación como referencia. De acuerdo con el trabajo sobre Modelos explicativos del proceso de innovación tecnológica en las organizaciones[17], no existe un consenso en el discurso científico para definir las etapas del proceso de innovación tecnológica. Las innovaciones no siguen un único patrón sistémico y el comportamiento humano social ha sido determinante y común en la trayectoria evolutiva como concepto teórico. También se observa que los modelos de innovación han sufrido un proceso evolutivo desde el modelo lineal (1985) hasta el modelo de la London Business School (1996) como fue mencionado en la sección 2.3. Cada modelo presenta sus ventajas, desventajas y aportes que han contribuido en el tiempo a la búsqueda de un modelo de gestión de la innovación sin embargo, no hay un modelo único para definirla. Para el marco de esta investigación se busca un modelo que logre contemplar la mayoría de los aspectos hallados durante la evolución de la investigación de los distintos modelos sobre la gestión de la innovación. Estos aspectos son: que no es un proceso secuencial o lineal, que la innovación puede surgir de cualquier área de la organización, que la innovación está profundamente relacionada con las buenas prácticas dentro de la organización. El modelo que cumple con la mayoría de estos aspectos y que es uno de los modelos menos antiguos es el de la London Business School [30]. Por estas razones se selecciona este modelo para la investigación. Con este modelo se busca medir el grado de implementación de IPv6 de los actores seleccionados de acuerdo a la métrica de la sección 3.2. Se estudian los factores técnicos y psicosociales. El modelo de la London Business School es un modelo sistémico, desarrollado por los profesores Chiesa, Voss y Coughlan (1996), de gestión de la innovación que expone las tareas clave en lo que hoy se pueden considerar como las competencias organizativas necesarias para gestionar la innovación en forma eficiente. Estas son: generación de nuevos conceptos, desarrollo de nuevos productos o servicios, innovación en los procesos y la adquisición de tecnología. Además, estas etapas deben cumplir tres condiciones: contar con talento humano y financiero, contar con un uso adecuado de los sistemas, de las herramientas adecuadas y con el apoyo de la

gerencia de la organización. Se denomina “sistemático”, por considerar que la innovación no es un proceso secuencial, de desarrollo de tecnología y comercialización en forma lineal simplemente. Sin embargo, se caracteriza por ser un proceso complejo de creatividad e interacción entre fuerzas tecnológicas, junto con las del mercado, y puede emerger en cualquier área de una organización. Se elige este modelo por presentar una metodología aplicable a la investigación planteada. En el capítulo 5 se aplica este modelo, definiendo una escala (del uno al cinco) para cada una de las tareas clave presentadas por el modelo y se asigna un puntaje a cada actor para poder medir el grado de implementación de IPv6 de los actores seleccionados.

A continuación se presentan las tareas clave planteadas por este modelo para medir la gestión de la innovación con relación a la implementación de IPv6:

- Generación de nuevos conceptos

La implementación de IPv6 trae como consecuencia la generación de nuevos conceptos: el entendimiento y uso de un nuevo protocolo. Es decir, nuevos conceptos técnicos para el personal que administra las redes en cada organización.

- Desarrollo de nuevos productos o servicios

IPv6 trae consigo la adaptación de sistemas en uso. Los sitios web han tenido que adaptar sus configuraciones para aceptar tráfico IPv6. Por ejemplo, de acuerdo con lo publicado por WorldIPv6 Launch [31] sitios de contenido importantes como: Facebook, Google, Yahoo tienen habilitado el tráfico en IPv6 desde el año 2012 y cada vez son más los sitios que también lo habilitan. Las redes de telefonía celular también han tenido que adaptarse y reconfigurarse con la implementación de IPv6. Todo dispositivo que necesite una conexión a Internet debe cambiar algún tipo de configuración para poder soportar la implementación del nuevo protocolo. Todos los servicios que se ofrecen en IPv4 deben ofrecerse también en IPv6.

- Innovación en los procesos

La implementación de IPv6 ha significado un cambio en la configuración de las redes de los proveedores de Internet, de proveedores de contenido,

técnicos y de todo aquel que ha tenido que configurar un dispositivo para conectarse a Internet. Los procesos de configuración para direcciones IPv4 que funcionaban desde hace años, han tenido que ser cambiados para poder realizar las configuraciones en IPv6. Las organizaciones deben modificar varios de sus procesos para adaptarse a la innovación. No solamente procesos del área técnica, sino que también de atención al cliente. El área de atención al cliente debe tener procesos actualizados para poder adaptarse a los nuevos servicios que brindan los ISP en IPv6.

- Adquisición de tecnología

Para el uso de IPv6 en algunos casos, es necesario adoptar nuevo hardware. Equipos viejos que no soportan IPv6, han tenido que ser cambiados para poder utilizar la nueva tecnología.

Con respecto a las condiciones establecidas por este método, se observa lo siguiente:

- Talentos humanos y financieros

Para lograr el desarrollo de la innovación es necesario contar con personal capacitado para poder realizar las nuevas configuraciones, planificar el despliegue, definir los cambios necesarios en la organización y brindar soporte. Si bien los actores seleccionados declaran que la mayoría de su equipo ha realizado numerosas capacitaciones en IPv6 porque existe mucho material publicado y accesible sobre IPv6, es importante evaluar si cada una de las organizaciones realmente ha capacitado a todo el personal necesario o solamente al área técnica. De igual forma, se necesita disponer de recursos financieros para poder respaldar los gastos adicionales que la implementación de IPv6 puede necesitar.

- Uso de los sistemas y las herramientas adecuadas

En la investigación se observa que algunos actores han hecho una implementación parcial de IPv6, pero no total. Esto significa que se han adaptado sistemas, configuraciones y herramientas necesarias para la implementación. Sin embargo, no se le brindó la atención necesaria para poder llegar al cumplimiento completo de los sistemas y herramientas adecuadas. Por ejemplo, hay servicios de resolución reversa de IPv6 para

ISP (herramienta adecuada) pero no para usuarios finales. Algunos ISP tienen herramientas adecuadas pero los usuarios finales no las tienen para poder utilizar IPv6. Es necesario adecuar todos los sistemas y contar con todas las herramientas adecuadas para culminar el cambio en forma completa.

- Apoyo de la gerencia de la organización

Para lograr el desarrollo de la innovación es fundamental que la gerencia apoye la iniciativa. La implementación de IPv6 necesita realizar cambios importantes en configuraciones de las redes que pueden poner en riesgo la red durante unos momentos mientras se realiza la transición. Para poder hacer eso, es necesario contar con la confianza y la voluntad de la gerencia para que la implementación cuente con los recursos necesarios para poder hacerlo. De acuerdo a las entrevistas que se pueden observar en el anexo 2, se observa que la implementación de IPv6 en cada organización provino de distintas áreas y no solamente del área de ingeniería. En particular, en más de uno de los casos ha venido la iniciativa del área de ingeniería, pero no logró alcanzar el apoyo de la gerencia debido a que tenían prioridades de otras tareas antes que la implementación de IPv6, por lo cual no era considerada una necesidad.

El proceso para gestionar la innovación puede no ser el mismo para todas las empresas, adicionalmente, sus resultados también podrán ser distintos en función de sus objetivos organizacionales, estrategia y cultura empresarial que las definen. Cada una buscará apuntar y desplegar sus recursos humanos, financieros, tecnológicos, sistemas y su propio perfil de liderazgo de manera eficaz y competitiva con la combinación de una estrategia de operaciones única. Este punto se puede observar en varios de los casos de estudio de esta investigación, en los que no todas las gerencias han apoyado la implementación de IPv6. En algunos ha sido una decisión estratégica de la empresa, mientras que en otras ha sido solamente una iniciativa del área de desarrollo que no ha logrado tener el alcance necesario para llegar a una implementación total. Es importante mencionar que la innovación es un proceso complejo y puede ser muy distinta en cada organización y no todas tendrán el mismo comportamiento.

3.3.1. Resumen sobre la metodología para el desarrollo de la innovación

Esta sección fundamenta la selección de una métrica para valorar el grado de desarrollo de innovación con relación a la implementación de IPv6. La métrica seleccionada es la de la London Business School. Es un modelo sistémico que expone las tareas clave en lo que hoy se pueden considerar como las competencias organizativas necesarias para gestionar la innovación en forma eficiente. Estas son: generación de nuevos conceptos, desarrollo de nuevos productos o servicios, innovación en los procesos y la adquisición de tecnología. Además, estas etapas deben cumplir tres condiciones: contar con talento humano y financiero, contar con un uso adecuado de los sistemas, de las herramientas adecuadas y con el apoyo de la gerencia de la organización. Se describe la forma de medir cada una de estas tareas y condiciones con relación al desarrollo de IPv6. Luego, en la sección 5 se aplica esta métrica a cada uno de los actores seleccionados para esta investigación.

Capítulo 4

Presentación de los datos, Análisis, Discusión

En el siguiente capítulo se desarrolla el análisis principal partiendo del agotamiento de IPv4, otras alternativas a IPv4, la necesidad de IPv6, seguridad en IPv6 y los principios originales para el diseño de IPv6. Luego se contrastan estos principios con la situación actual para investigar si los principios continúan vigentes o son obsoletos. Además, se estudia si el protocolo de IPv6 debe ser considerado o no como una innovación y de ser así, si se ha aplicado una metodología de innovación para ejecutar su despliegue y cuáles han sido los principales obstáculos. A continuación se estudia sobre el despliegue de IPv6 a nivel regional y nacional. Para el análisis nacional se realiza como trabajo de campo entrevistas a los actores referentes de Internet seleccionados para esta investigación.

4.1. Agotamiento IPv4

Según [32] en el año 1990 el Internet Engineering Task Force (IETF) identificó que el espacio IPv4 se acabaría en un futuro próximo. En el año 1993 comenzó a tomar algunas medidas para poder mitigar ese riesgo. Por ejemplo, solicitó propuestas para un protocolo para la próxima generación. Por lo tanto, en el año 1994 se creó el protocolo IPv6. En ese momento se proyectaba que IPv4 continuaría hasta los próximos 15 años. Además, se apoyó la investigación de IPv6 para Domain Name Server (DNS), (Dynamic Host Configuration Protocol) (DHCP) y para los distintos protocolos de enrutamiento, junto con

la implementación en varios sistemas operativos (Linux, MacOS, Windows). La adopción de prefijos comenzó en el año 2007 con la política para asignación de prefijos en el 2006. Finalmente la asignación de la Internet Assigned Numbers Authority (IANA) del último prefijo /8.

LACNIC implementó cuatro fases de agotamiento. Actualmente nos encontramos en la cuarta y última fase, en la cual solo pueden recibir espacio IPv4 por única vez todas aquellas organizaciones que aún no hayan recibido espacio IPv4 asignado por LACNIC. Se pueden hacer asignaciones entre 1.024 (/22) y 256 (/24) direcciones IP. Frente a este hecho, LACNIC animó a la comunidad a adoptar el protocolo IPv6 para que los proveedores de conectividad y las organizaciones puedan satisfacer la demanda de sus clientes. Ante la necesidad de satisfacer la demanda de direcciones IP, las organizaciones que no estaban decididas a implementar IPv6 comenzaron a tomar otras alternativas. Estas son: el mercado de direcciones IP, Carrier grade NAT y otras técnicas de transición.

4.2. Otras alternativas a IPv6

En esta sección se abordan qué alternativas tienen los ISP que no decidan implementar IPv6.

4.2.1. Mercado de transferencias de direcciones IPv4

Los ISP que no están dispuestos a avanzar con el despliegue de IPv6, han encontrado otras alternativas. La primera es el mercado secundario de direcciones IPv4. Ante la escasez de direcciones IPv4, ha surgido un mercado de direcciones entre los ISP oferentes y los ISP receptores. Si una organización quiere transferir sus direcciones IPv4 a otra organización puede hacerlo ante LACNIC. La comunidad de LACNIC ha habilitado las transferencias dentro de la región en el año 2016 y en el año 2020 ha habilitado las transferencias fuera de la región. Actualmente están permitidas las transferencias de direcciones IPv4 entre LACNIC, Asia-Pacific Network Information Centre (APNIC), American Registry for Internet Numbers (ARIN) y Réseaux IP Européens Network Coordination Centre (RIPE), organizaciones que administran los recursos en Asia y Pacífico, América del Norte y algunas islas del Caribe y Europa respectivamente. Alguno de los problemas de esta alternativa son los costos crecientes,

ya que es un mercado con recursos finitos y con una demanda creciente, o sea que los precios van aumentando cada vez más. Además, es una solución a corto plazo, ya que no es tan fácil acceder a todas las direcciones que se necesitan. En forma adicional, cada vez es más caro tener direcciones IPv4. El costo promedio de las direcciones IPv4 en el mercado de transferencias es variable, oscilando entre USD 10 y USD 30 por dirección IPv4. Finalmente, es importante mencionar que cada vez es más difícil conseguir direcciones IPv4, tanto por el agotamiento como por el cambio de políticas en los distintos Regional Internet registry (RIR).

De acuerdo con Fred Baker en [32] el mercado de transferencias IPv4 surge porque hay varias organizaciones a las que se les asignó bloques muy grandes de direcciones IPv4 en los comienzos y que actualmente no utilizan esas direcciones, por lo cual les sirve más venderlas. Además, el 90% de las ventas son para redes de distribución de contenidos y para sitios de redes sociales. Luego, Baker indica que los bloques más grandes han sido vendidos, y los bloques que quedan son los más pequeños y difícil de administrar. Otro aspecto a tener en cuenta es el precio. De acuerdo con lo publicado en [33] la evolución de precios de las direcciones IPv4 se puede ver en la siguiente imagen.



Figura 4.1: IPv4 marketgroup (2020).IPv4 Prices. Recuperado de <https://ipv4marketgroup.com/ipv4-pricing/>

Se observa en la figura 4.1 que los precios han ido variando desde los USD 5 hasta los USD 30 desde que se comenzaron a comprar direcciones IPv4 en el año 2013. De acuerdo con los datos publicados por el broker ¹ IPv4marketgroup

¹Un broker es el agente encargado de realizar las transacciones de direcciones IPv4, contacta al oferente y al receptor para efectuar el negocio y ejecutar la transferencia.

[33], solamente ellos han realizado 575 transacciones de direcciones IPv4, 125 de las cuales han sido bloques /16 o mayores y movieron 32.8 millones de direcciones IP transferidas desde el 2011. El valor de estas 32.8 millones de direcciones fue de más de \$300 millones de dólares. De acuerdo a esta información, se detecta que los precios de las direcciones IPv4 están muy altos y con el crecimiento de la demanda y la reducción de la oferta, todo parecería indicar que cada vez se elevarán más, volviéndose más inaccesible para los que realmente las necesitan. Por esta razón la alternativa del mercado de transferencias no es la más recomendable ni accesible para las organizaciones.

4.2.2. Carrier grade NAT

La segunda alternativa es desplegar Carrier grade NAT en gran escala. Esta alternativa permite que varios dispositivos compartan la misma dirección IP pública. Esto genera problemas, por ejemplo si se bloquea una dirección IP que comparten varios usuarios, todos los usuarios se verían afectados por el mal uso de un solo usuario. Además, varios sitios web funcionan en forma específica según el país en el cual se encuentre el usuario. Twitter tiene políticas específicas por país. En estos casos las aplicaciones de Geolocalización mostrarán una ubicación equivocada. En forma adicional, desde el punto de vista legal, la trazabilidad de los usuarios se vuelve más compleja, al tener que llevar logs que indiquen direcciones y puertos utilizados en los distintos niveles del NAT para poder localizar a un usuario según su dirección IP. Otra desventaja de la utilización de NAT es que agrega complejidad a la red: se agregan puntos de falla y cuellos de botella, lo que se observa como una mayor lentitud en la red. Es por eso que la complejidad de la red agrega costo de operación y mayor propensión a las fallas. Finalmente, otra desventaja es que los costos han ido creciendo, ya que no es una alternativa que escale a largo plazo y siempre es necesario estar ampliando los equipos de Carrier grade NAT, por lo tanto no es una solución sostenible. La mayoría de los proveedores comenzaron utilizando carrier grade NAT como alternativa al agotamiento de direcciones IPv4. Por lo tanto, se concluye que NAT es una solución temporal, cara y de baja calidad, no es lo más recomendable.

4.3. Seguridad en IPv6

De acuerdo con Acosta, [34] las amenazas de seguridad IPv6 se pueden clasificar en tres categorías:

- Las que ya existían con IPv4 y se comportan similar con IPv6. Algunos ejemplos son: sniffing, ataques a otras capas, flooding.
- Las que ya existían con IPv4 y se comportan distinto con IPv6. Algunos ejemplos son: escaneo de red, amplificación (smurf).
- Nuevas amenazas que aparecen con IPv6. Algunos ejemplos: amenazas a NDP, Routing Header tipo 0, cabeceras de extensión.

El protocolo de Neighbor Discovery Protocol (NDP) [RFC4861] es vulnerable a diversos ataques [RFC3756][RFC6583]. La especificación recomienda el uso de IPsec ¹para proteger los mensajes de Neighbour Discovery. Sin embargo, por diversas razones en la práctica esta no es una solución del todo efectiva. Otro punto importante con respecto a la seguridad en IPv6 es que no se pueden replicar ligeramente las reglas de IPv4 en IPv6. Por ejemplo, en los firewalls es muy importante permitir paquetes ICMPv6 Packet Too Big (PTB). En resumen, si bien se agrega y recomienda el uso de IPsec, aún existen vulnerabilidades de seguridad en IPv6.

4.4. Innovación en IPv6

En la siguiente sección se cuestiona si la implementación de IPv6 resulta una innovación y las consecuencias que ello conlleva, las metodologías de innovación que existen y la evolución de IPv6 en la industria.

4.4.1. ¿Es la implementación de IPv6 una innovación?

De acuerdo con el manual de Oslo [9], las innovaciones se definen como cambios significativos con el fin de distinguir estos últimos de las pequeñas

¹IPsec reúne varios protocolos que tienen como función asegurar las comunicaciones sobre el Protocolo de Internet autenticando y/o cifrando cada paquete IP en un flujo de datos. IPsec también incluye protocolos para el establecimiento de claves de cifrado.

modificaciones corrientes y rutinarias. De acuerdo con esta definición se puede afirmar que la implementación de IPv6 representó una innovación en forma de cambio disruptivo para todos los ISP, debido a que su adopción trae como consecuencia varios cambios significativos en las redes, tanto a nivel de configuración como de equipamiento. En su momento la implementación de IPv6 se desarrolló como un producto nuevo, por lo tanto, una innovación. Su despliegue y su difusión generan un cambio cultural en la sociedad tecnológica.

Según [35] hay un consenso en destacar que la innovación es un proceso social e interactivo. Esto se debe a que existen canales de comunicación confiables y duraderos, tanto internos como externos (proveedores, clientes, competidores, universidades, institutos de investigación, etcétera). Este es el caso de varios países que han impulsado a sus gobiernos, junto con universidades y otras organizaciones para colaborar con el despliegue de IPv6 como se menciona en la sección 2.5. Sin embargo, a pesar de todos estos esfuerzos de difusión y conscientización sobre el despliegue, IPv6 no ha logrado su implementación de la forma que estaba previsto.

Uno de los principios para el diseño de IPv6 en sus comienzos, consistía en ser transparente para el usuario. Sin embargo, esa idea de transparencia es justamente lo que conlleva a que el usuario no vea la diferencia en utilizar esta innovación. En particular, el usuario no logra encontrar una ventaja en invertir en el cambio a IPv6, ya que como fue diseñado, implica que debería ser lo mismo. Por lo cual, no hay una motivación para que el usuario final realice el cambio. En este caso, la característica de transparencia en el propio diseño de IPv6 conspira contra su adopción. Esto se identifica como una falla en la innovación porque esta característica de su diseño no logró captar la motivación para la adopción de la innovación.

El usuario necesita una necesidad o motivación para invertir en una innovación y asumir los riesgos que ella conlleva. En el caso de IPv6 como innovación, es transparente para el usuario final (el que se conecta a Internet a través de su dispositivo), por lo cual el usuario final no ve un cambio en la nueva tecnología, haciendo que pierda el valor de la novedad y haciéndola despreciable para el usuario final. Un ejemplo es el caso de IoT, en el que se suponía que sería necesario IPv6 para lograr una buena relación entre la cantidad de dispositivos conectados a Internet y direcciones IP. Sin embargo, actualmente se han encontrado diversas alternativas para su aplicación sin la necesidad de implementar IPv6. Dicho esto, para los usuarios es necesario tener una tecno-

logía tangible que lo motive a invertir en el cambio. Mientras que no haya una necesidad clara, un producto nuevo, una tecnología tangible asociada a IPv6, posiblemente la implementación de IPv6 siga tardando cada vez más.

De acuerdo con [35] la innovación normalmente implica un riesgo. Para que a un accionista le resulte atractivo invertir en una innovación, debe incluir un modelo de negocio que mejore la eficiencia. Las empresas deciden si invertir en innovar basándose en los conceptos de competitividad, de estrategia empresarial, y a la interacción dinámica entre los elementos críticos de esta estrategia. En el caso de IPv6 no es fácil demostrar la mejora en el modelo de negocios al implementar esta nueva tecnología. La innovación, además del mantenimiento de la competitividad de la organización y su mejora, debe tener definido un propósito, fin o resultado esperado en sí misma. En este caso, si bien el fin original de IPv6 era lograr aumentar la cantidad de direcciones disponibles, actualmente la escasez de IPv4 ha sido solventada con soluciones alternativas (como NAT, etc.) que han logrado evadir la necesidad de obtener IPv6. Por lo tanto, el fin con el cual se creó IPv6 ya es obsoleto. Esto perjudica a que IPv6 como innovación tenga un fin.

4.4.2. La innovación requiere implementación

De acuerdo con el artículo publicado por Community Research and Development Information Service (CORDIS) sobre resultados de investigaciones de la UE [36], se indica que la innovación requiere de la implementación de IPv6. Esta organización explica que la posición de Europa como líder mundial en comunicaciones móviles y su capacidad para innovar, podrían verse amenazadas si no avanzan con el despliegue de IPv6. Esto se debe a que son cada vez más la cantidad de dispositivos que necesitan conectarse a Internet, como por ejemplo: equipos industriales, sistemas de navegación para automóviles, teléfonos móviles, electrodomésticos, entre otros. Por esta razón, de no poder utilizarse las direcciones IPv6, podrían verse frenadas las innovaciones que impulsan la competitividad europea. Adicionalmente, Erkki Liikanen anuncia que los estados miembros de la UE y la industria necesitan que sus actividades de investigación coincidan con el compromiso político de garantizar que se disponga del IPv6 lo antes posible. Por lo cual es importante que el gobierno de cada uno de los estados apoye de alguna forma el despliegue de forma de potenciar la innovación.

Nuevos tipos de aplicaciones y nuevos tipos de tecnologías de acceso requieren direcciones únicas. Sin embargo, como se mencionó en la sección 4.1, prácticamente no quedan direcciones IPv4, por lo cual para continuar desarrollando innovación es inevitable la utilización de IPv6. De acuerdo a lo que indica [36] IPv6 es una oportunidad para nuevas aplicaciones avanzadas como ser: Peer to Peer (P2P), GRID, Ambient intelligence, entre otros. Además, algunas de las aplicaciones no han sido del todo exitosas con IPv4.

4.4.3. Metodologías para el desarrollo de la innovación

Existen diversas metodologías para el desarrollo de la innovación. Algunas de ellas son: Design thinking, Lean start up, Agile, entre otras. Para el desarrollo de la innovación una de las más utilizadas es Design thinking. A continuación se realizará una breve descripción sobre cada una de ellas y luego se decide seleccionar una como referencia para poder evaluar si para la implementación de IPv6 se siguió algún tipo de metodología.

Design thinking

Esta metodología se basa en la idea de que para innovar en forma exitosa, es necesario desarrollar la capacidad de empatía y así lograr identificar las necesidades del usuario. Esta metodología consiste en seguir un proceso de cuestionamiento hasta encontrar la necesidad del usuario más relevante a cubrir. Y luego validar que esta necesidad es auténtica y real.

Lean Startup

De acuerdo con Eric Rise, [37], Lean Startup consiste en poner en ejecución diversas prácticas con el objetivo de acortar el ciclo de desarrollo de un producto. Miden el progreso real sin recurrir a indicadores complejos y ayudan a entender qué es lo que realmente quieren los consumidores. Además, esta metodología permite a una organización cambiar de dirección con agilidad y alterar los planes en tiempo real. En lugar de malgastar tiempo diseñando planes de negocio muy elaborados, Lean Startup ofrece una mejor manera para poner a prueba una idea de producto, poder adaptarla y ajustarla antes de que sea demasiado tarde.

Agile

La metodología Agile surge en el ámbito del desarrollo de software. Sin embargo, puede ser utilizada para otras actividades como el diseño o el marketing. Sus principios son el valor del *work in progress*. Se realizan ciclos llamados sprint que consisten en: desarrollo del producto, interacción con el cliente para mostrarle el producto en desarrollo, posibilidad de respuesta ante cambios durante el desarrollo. Esto significa una responsabilidad de todos los individuos para lograr el entendimiento necesario para desarrollar el producto deseado.

Si bien las metodologías Agile y Lean Startup pueden utilizarse para la innovación de productos, principalmente se utilizan para el desarrollo de software. Por esa razón, se decide seleccionar la metodología de Design Thinking como referencia para evaluar si en el desarrollo de IPv6 se utilizó una metodología de innovación. De acuerdo con lo mencionado en el libro Design thinking: como guiar a estudiantes, emprendedores y empresarios en su aplicación [38], Design Thinking consiste en cinco etapas:

- Empatizar: lograr entender las necesidades de los clientes, o bien los problemas que enfrentan, observándolos de cerca.
- Definir: crear un usuario típico para el cual se está diseñando una solución o producto.
- Idear: generar todas las ideas posibles.
- Prototipar: construir prototipos reales de algunas de las ideas más prometedoras.
- Evaluar: Aprender a partir de las reacciones de los usuarios a los distintos prototipos.

Mediante este proceso iterativo, la experiencia del usuario, el uso de la creatividad, la ejecución y el testeo, se busca crear innovaciones y/o soluciones centradas en los usuarios y no en los productos. Se observa que esta metodología está claramente orientada al usuario mediante la observación, la solución de sus problemas y/o necesidades. Por otra parte, IPv6 no fue desarrollado como tal. Como se explicó previamente, el desarrollo de IPv6 como innovación surge por la necesidad del agotamiento de las direcciones disponibles. No había otra alternativa que ampliar la cantidad de direcciones disponibles para poder sustentar el crecimiento de Internet. Para eso, el nuevo protocolo se diseñó de forma tal de que fuera transparente para el usuario y que no pudiera notar la diferencia. Esta característica, es la que hace que el diseño de IPv6 tome

dos signos en esta ecuación. Por un lado, el signo positivo, ya que el protocolo podría seguir funcionando sin necesidad de molestar al usuario. Por otro, el signo negativo, ya que al ser invisible para el usuario, el usuario no podría valorar el cambio, y por tanto no le interesaría invertir en su implementación, que es lo que terminó sucediendo. Si bien Design thinking es una sola metodología de innovación, tampoco se logra identificar que la implementación de IPv6 haya seguido una metodología propia.

Se estudia también otra metodología de innovación explicada en el trabajo del Modelo Uruguayo de Gestión de Innovación elaborado por: INACAL, ANII, LATU y UCU [35]. Este trabajo define una metodología para el desarrollo de la innovación. Describe que los pasos a seguir son:

- Evaluación: Decidir la forma de evaluación, si se evaluará el sistema de gestión de la innovación en su totalidad o se comenzará a incursionar por un área específica. Esto depende si se desea instaurar un producto en forma completa o si se desea hacerlo en forma paulatina.
- Asignar un responsable para la evaluación.
- Establecer cómo se ejecutará. Decidir si se contratará a un facilitador externo o si se designará al personal de la empresa como responsable(s) de este proceso.
- Asignar recursos para la ejecución: es necesario definir plazos, colaboradores y los recursos necesarios para un óptimo relevamiento y análisis de la información.
- Responder los ítems de evaluación: para poder relevar si fue efectivo o no.
- Identificar el grado de avance: se genera al contrarrestar las metas planteadas inicialmente con la realidad. Es normal que una organización se encuentre en distintos niveles de madurez para cada uno de los ítems del modelo.
- Consolidar los resultados en un informe final. Esto se realiza para generar un registro formal que evalúe el desempeño de la organización y facilite la comunicación de la información sobre el proceso a los distintos niveles de la organización.
- Establecer medidas de acción futuras: para poder acercar la brecha entre los resultados esperados y los resultados reales. Además, dejar un registro de las acciones consecuentes para continuar con el desarrollo de la

innovación.

- Definir una frecuencia de revisión sistémica: mantener condiciones similares de relevamiento y medición permite producir evaluaciones con resultados comparativos ante el progreso del tiempo.

Para el caso de análisis de esta metodología, se observa que está orientado a organizaciones que tengan como meta específica el despliegue de la innovación. Por ende, que diseñen un proyecto específico para el desarrollo de la innovación, que asignen a un responsable, que asignen recursos, que den seguimiento, entre otras acciones que ayuden a lograrlo. En la mayoría de los casos, los ISP en diversos países no han invertido en este proyecto. Si bien no es el caso de varias organizaciones que sí han creado un proyecto en torno al despliegue de IPv6 y se han comprometido a ello, no es el caso de varios otros ISP, que aún no ven su necesidad y no ven el valor de invertir recursos en este tipo de proyecto.

Para los casos que toma la muestra en esta investigación (Telefónica, AN-TEL, SeCIU, URSEC y AGESIC) la motivación provino de un grupo reducido de personas para realizar el despliegue. En la mayoría de las entrevistas han mencionado que la decisión no provino de la dirección, sino que fue sugerida por el grupo de ingeniería y aceptada por dirección. Como consecuencia, según lo que comentaron en la mayoría de los casos, no se le realizó el seguimiento necesario desde la dirección para finalizar al 100% la implementación. IPv6 se implementó hasta un determinado punto, pero no se trabajó en llegar al interés del usuario final, en demostrarle el valor al usuario final.

Actualmente el usuario final, persona que se conecta a Internet a través de un dispositivo (por ejemplo, celular), es motivado por el desarrollo de innovación desde la nueva tecnología. Si IPv6 no es tangible para él desde una nueva tecnología, IPv6 no tendrá valor para él. Se podría decir que para el caso de las organizaciones estudiadas en esta investigación, y posiblemente en la mayoría de los casos, la implementación de IPv6 no ha seguido una metodología de innovación, de forma tal que la innovación logre atraer y ser adoptada por los usuarios finales, por las personas que se conectarán a Internet desde su computadora, celular, tableta, entre otros. Por otra parte, como se observó previamente, se realizaron varias acciones principalmente desde el gobierno para incentivar al despliegue. Sin embargo, la mayoría han sido diseñadas de forma de presionar o bien decretar que los ISP y el resto de los usuarios finales deberían utilizar IPv6. Sin embargo, no hubo una metodología orientada a la

innovación, pensada como tal, enfocada en solucionar un problema del usuario final, de generar empatía, etc. En la mayoría de los casos, cuando el usuario final empieza a utilizar más dispositivos, por ende necesita más direcciones IP, la mayoría de ISP, para continuar brindando servicio, acude a otras alternativas (por ejemplo NAT). Es así como uno de los principales errores en el lento despliegue de IPv6 es que debería haber estado pensado hacia el usuario final, al cliente, a la persona que se va a conectar a Internet a través de uno o varios dispositivos, lograr que el usuario pida IPv6. Por ejemplo, a través de determinada tecnología que lo requiera, o servicios que funcionen solo o mejor con IPv6, entre otros. Como menciona Design Thinking, al lograr empatizar y comprender al usuario, se podrá lograr que el mismo quiera adoptar la innovación.

Se puede observar esto con las metodologías utilizadas en los casos estudiados en esta investigación: Telefónica, ANTEL, SeCIU, URSEC y AGESIC. En los todos casos se puede identificar que la idea de comenzar con el despliegue proviene desde el lado de ingeniería, personas capacitadas que entienden la necesidad de utilizar un nuevo protocolo que permita ampliar el rango de direcciones IP disponibles. Sin embargo, este nivel de convencimiento nunca se traslada al usuario final. De modo, que el usuario final, no está dispuesto a pedir el servicio ni tampoco a pagar por él. Si bien desde diversas organizaciones (LACNIC, IANA, entre otros) se han realizado varias acciones para capacitar sobre IPv6, al basarse en el nivel de despliegue actual, se puede decir que hubo una escasez de capacitación al usuario final. La mayoría de los esfuerzos se concentraron en capacitar al ISP, pero no se tuvo en cuenta que también debería trasladarse el mensaje al usuario final. Es importante que el usuario final entienda el valor de la innovación, que entienda por qué es importante implementarlo, se convenza de ello para transmitirlo a los tomadores de decisiones, quienes finalmente hacen la diferencia en el despliegue.

4.4.4. Evolución de IPv6 en la industria

Como se menciona en la sección previa, IPv6 fue creado ante la necesidad de aumentar la cantidad de direcciones IP disponibles y no como una creación orientada al usuario final. Dicho esto, surgen las interrogantes: ¿fue adecuada la forma en la que IPv6 evolucionó en la industria?, ¿hubiera sido mejor esperar a que el usuario final entienda la necesidad y sea él quien lo pida?, ¿o era mejor

adelantarse al agotamiento como se hizo? Actualmente se sigue funcionando sin IPv6, se usan alternativas que prevalecen y nadie necesita de IPv6 para sobrevivir, con IPv4 aún pueden hacerlo. Se puede decir que hubo un cambio en el paradigma a que se le ha dado demasiado énfasis en que la transición no traiga dificultades hasta el punto tal que hizo que no sea necesaria, por lo cual el usuario final no pide ni quiere el cambio. Lo que motivó el diseño de IPv6 dejó de ser un motivo tan importante porque no es lo que la gente pide hoy. Quienes lo pedían eran los administradores de sistemas, pero el usuario nunca lo pidió ni lo pide actualmente. Al usuario le importa navegar en Internet, no le interesa qué dirección IP está utilizando. El que pide la dirección IPv6 es el técnico, quien busca hacer funcionar y optimizar la red.

4.5. Despliegue de IPv6

Como indica Juan Carlos Alonso [39], es importante mencionar que los dispositivos IPv4-only no pueden hablar con dispositivos IPv6-only. Para poder hacerlo necesitan un traductor, equipamiento y costo extra. Además, este tipo de traductor altera la comunicación, haciendo peor la calidad de la red. Para lograr el completo despliegue de IPv6 se requiere sustancial despliegue en: redes de acceso para usuarios finales (DSL, fibra y cable), redes de acceso móvil (5G, 4G, 3G) y proveedores de contenido locales.

Para el despliegue de IPv6 es importante tener en cuenta que los vendedores de equipos puedan diferenciar entre los equipos que soportan IPv6 y los que no. Luego, los ISP deberían tener claro si el servicio que ofrecen soporta IPv6 o si tienen planes a corto plazo de soportarlo. Lo que sucede muchas veces es que los ISP no ofrecen IPv6 porque los clientes no lo piden y los clientes no piden IPv6 porque no hay contenido al que no puedan acceder sin IPv6. Sin embargo, esto ya no es así, la mayoría de proveedores ya ofrecen sus contenidos en IPv6. Esto se puede ver con mayor profundidad en las entrevistas a los ISP en el anexo 2.

Como se explicó en la sección 4.2 se puede afirmar que invertir en NAT sería invertir en una solución a corto plazo. Sin embargo, invertir en IPv6 es invertir en una solución definitiva. También es recomendable, aprovechar el cambio natural de tecnología en una organización o compras nuevas de equipos para comprar equipos que soporten IPv6. Para el cliente final es invisible si se le ofrece un servicio sobre IPv4 o sobre IPv6, lo que les importa es que se le

ofrezca un buen servicio.

4.5.1. Planificación del despliegue de IPv6

Para planificar el despliegue de IPv6 es necesario realizar un relevamiento previo [40], en cuanto a: equipamiento, definiendo cuáles equipos soportan IPv6 y cuales no y definir si es necesario tener toda la red en IPv6. También es necesario saber si el ISP que brinda servicio y los proveedores de contenido ofrecen IPv6. Finalmente, identificar si el software también soporta IPv6. Luego, es necesario realizar una capacitación de los administradores y operadores de equipos más profunda, pero también es necesario realizar una capacitación para áreas no técnicas quienes también deben saber sobre la existencia del nuevo protocolo. Si bien son las áreas de ingeniería quienes realizan el despliegue, es necesario que todas las áreas de la compañía (finanzas, comunicación, dirección, entre otras) sepan lo que significa IPv6 y por qué es necesario. Es necesario considerar el soporte de equipos IPv6 al desarrollar el plan de inversiones, principalmente en los planes de renovación de equipos. Finalmente, para la implementación es necesario diseñar la arquitectura y diseño de IPv6, el plan de numeración. Luego comenzar a testear en áreas no críticas para la organización. También es necesario definir políticas de seguridad y monitoreo. Una vez efectuadas estas acciones, se podrá realizar la implementación masiva y la operación en producción. Es recomendable realizar la implementación por etapas e ir aumentando los servicios en forma paulatina para poder identificar fallos.

4.5.2. Por qué desplegar IPv6

Redes IPv4 tendrán peor performance debido fundamentalmente a las capas de traducción. Algunas empresas como Facebook han reportado que en redes que tienen acceso solo por IPv6 tienen mejores tiempos que cuando vienen por IPv4.

Si bien se dice que no hay contenido en IPv6, esto no es cierto, en una red full-IPv6 aproximadamente entre 30-45 % del tráfico es IPv6. Actualmente existen varios sitios IPv6 only, de acceso sólo por IPv6, y cada vez más los proveedores que impulsan la implementación se suman a este tipo de iniciativas, por lo cual es necesario contar con IPv6 para acceder a estos sitios. También se dice que IPv6 es caro de implementar. Sin embargo, si se aprovecha el ciclo

natural de inversión, no tiene por qué serlo, ya que de todas formas, será necesaria la compra de nuevos equipos. Además, el costo de mantener la red en IPv4 con alternativas como transferencias y CGNs por usuario, es mucho mayor que implementar IPv6 [41].

4.5.3. Cómo medir el despliegue de IPv6

Para poder medir el despliegue de IPv6 es importante separar los datos disponibles desde tres perspectivas diferentes: desde el punto de vista del proveedor de contenido (como ser: Google, Facebook, etc.), desde el punto de vista del proveedor de acceso y desde el punto de vista de un observador externo como se refleja en la figura 4.2.



Figura 4.2: Esquema de perspectivas de Internet

Para poder observar estadísticas de acceso a contenido es necesario que los proveedores de contenido los publiquen. Por ejemplo, Google y Akamai lo hacen [42] [43].

En las estadísticas que publica Google (figura 4.3), se muestra el porcentaje de usuarios que acceden a Google por IPv6, desglosando los datos según IPv6 nativo o túneles 6to4/Teredo ¹. Se puede observar como comienza el despliegue muy lentamente en el año 2009 y entre los años 2014 y 2015 comienza a acelerar el crecimiento, alcanzando un 29,83% en enero del 2020. Esto se explica porque en el mayo del 2014 comienza la primera fase de agotamiento de direcciones IPv4. Por lo cual, se empieza a difundir con mayor intensidad y celeridad la información ². Otra parte de la información que presenta Google

¹Los túneles 6to4 y Teredo son mecanismos de transición IPv4-IPv6. Estos mecanismos permiten la convivencia de redes IPv4 con IPv6.

²Se definen cuatro fases de agotamiento para la distribución de direcciones IPv4. Actualmente estamos en la cuarta y última fase. Se puede ver más información en el Anexo 3

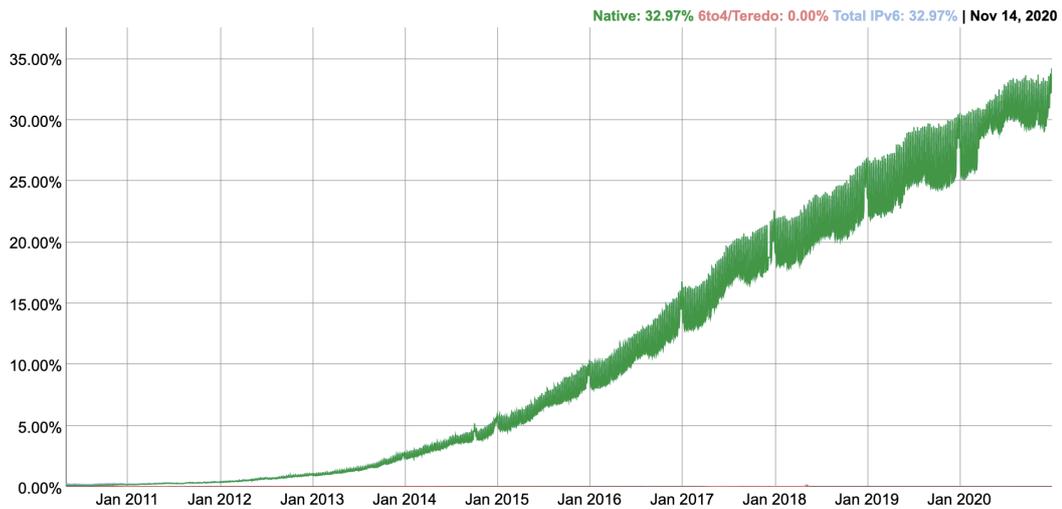


Figura 4.3: Google (2020). Porcentaje de usuarios que acceden a Google a través de IPv6. Recuperado de <https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>

es que los mayores despliegues de IPv6 han sido a nivel de usuario residencial y no de usuario corporativo. El uso del usuario corporativo de IPv6 es más conservadora, por lo cual hay una amplia diferencia de tráfico corporativo y residencial en IPv6. Por otra parte, en las estadísticas de Akamai se despliega la información por país, donde se observa que con relación al contenido, las zonas de mayor despliegue son en América del Norte y Europa occidental. India también cuenta con un alto despliegue de un 59%. Las estadísticas de Akamai (figura 4.4) pueden mostrar resultados diferentes a los del resto. Esto se debe a que Akamai muestra los porcentajes de acceso de IPv4 e IPv6 que llegan a la plataforma de acceso a través de Akamai. Esto depende de cuantos sitios o proveedores de acceso utilizan Akamai y también depende de como están conectados los caches de Akamai en un determinado país.

Luego, está la perspectiva de mediciones por parte de los proveedores de acceso. Al igual que en el caso de los proveedores de contenido, para acceder a los datos, es necesario que ellos publiquen la información. En el caso de ANTEL, se identifica un 10% del tráfico de bajada y un 16% del tráfico de subida, para un 40% de usuarios que usan IPv6 [44].

Finalmente está el punto de vista del observador externo. Para poder medirlo existen una serie de metodologías que miden el porcentaje de usuarios con acceso a IPv6. Un ejemplo se puede observar en la tabla 4.1, que ilustra los resultados obtenidos con una herramienta que ha desarrollado APNIC [45]. Esta herramienta mide la capacidad de los dispositivos de poder conectarse a

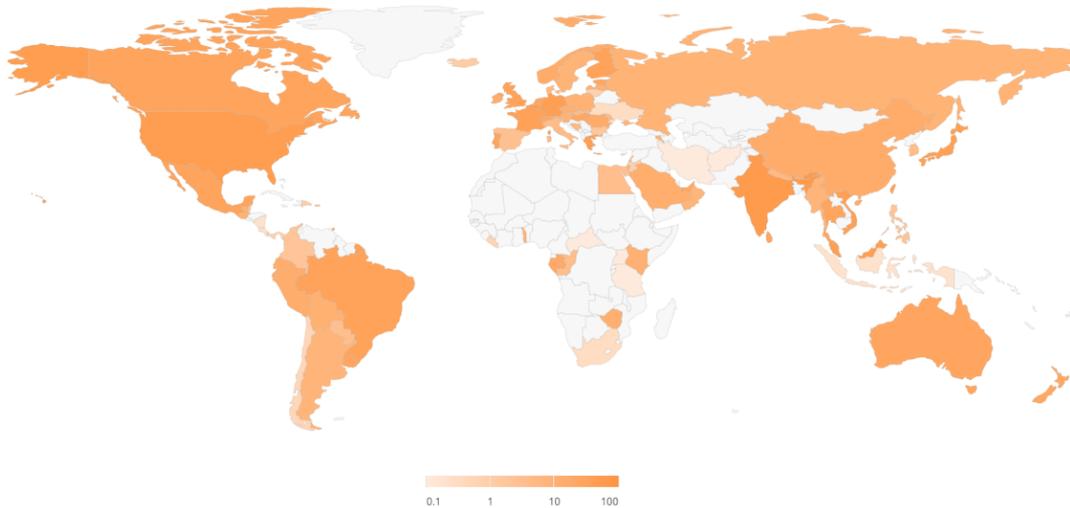


Figura 4.4: AKAMAI (2020). Porcentaje de adopción de IPv6 por país. Recuperado de <https://www.akamai.com/uk/en/resources/our-thinking/state-of-the-internet-report/state-of-the-internet-ipv6-adoption-visualization.jsp>

IPv6. De acuerdo con los resultados de esta herramienta, se encuentra que el porcentaje de usuarios que pueden acceder a IPv6 son los que se presentan en la siguiente tabla 4.1.

Tabla 4.1: APNIC (2020). Capacidad de los dispositivos de conectarse a IPv6 por país, basándose en una herramienta desarrollada por APNIC. Extraído de <https://labs.apnic.net/?p=348>

<i>Pais</i>	<i>IPv6compatible (%)</i>
BR	30.95
UY	30.01
MX	26.50
PR	23.77
TT	22.56
PE	17.91
EC	16.70
GT	10.98
AR	8.78
BO	7.91
BZ	4.38

4.5.4. Proveedores de contenido en IPv6

Como se explica en la sección 4.5.3, es importante medir el despliegue de IPv6 desde los distintos niveles, uno de ellos es desde el nivel del proveedor

de contenidos. De acuerdo con el estudio publicado por Trinh Viet Doan [46], se indica que durante la última década Youtube y Netflix han crecido de tal manera, que se han convertido en los servicios de transmisión de video que tienen el mayor porcentaje del tráfico de bajada de Internet. Netflix es capaz de transportar tráfico en IPv6 desde el año 2012. En el estudio presentado muestra cuánto tráfico viaja en IPv4 comparado con IPv6 entre julio del 2016 y abril del 2019. Se midió la latencia y el throughput descargando contenido de Netflix como lo haría cualquier usuario. Se observó que los servidores de Netflix están igualmente disponibles para IPv4 como para IPv6 durante el día con una tasa de éxito de un 100 % aproximadamente. Sin embargo, en algunas pruebas tuvieron una tasa de éxito un poco más baja en IPv6. Con la recomendación de Happy Eyeballs [RFC 8305], los clientes prefieren conectarse a los servidores de Netflix sobre IPv6. Con el correr de los años el tiempo de conexión TCP con los servidores de Netflix se ha reducido en un 40 % tanto sobre IPv4 como IPv6 (de apenas 25ms a 15ms). En el 2019, la mitad de las muestras utilizadas se conectaron más rápido a IPv6, aunque la diferencia de latencia entre IPv4 e IPv6 es marginal. El rendimiento de los servidores de Netflix ha incrementado en los últimos años tanto para IPv4 como para IPv6 (de alrededor de 10MB/s a 12MB/s). Sin embargo, IPv4 muestra una pequeña mejora de rendimiento para un 75 % de las muestras en comparación con IPv6.

En resumen, los resultados de este estudio muestran la importancia de la recolección de datos durante un periodo significativo de tiempo, para entender la evolución del tráfico del contenido de transmisión de video popular, principalmente con la adopción de IPv6. En general, mientras la performance de IPv6 es casi a la par con la de IPv4, los cachés de contenido implementados en las redes de los ISP pueden traer beneficios sustanciales en términos de latencia y rendimiento.

4.6. Mediciones a nivel regional y nacional

A continuación se describen aspectos del despliegue de IPv6 en la región de Latinoamérica y el Caribe, se muestra el estado de visibilidad de prefijos IPv6 en la región de Latinoamérica y el Caribe y se realiza un análisis de las entrevistas a los actores seleccionados por temática.

4.6.1. Medición del despliegue de IPv6 en la región de Latinoamérica y el Caribe

La región de Latinoamérica y el Caribe se encuentra en la fase tres de agotamiento de IPv4, como lo viene comunicando LACNIC desde hace varios años y ha estimado que el agotamiento del espacio de IPv4 llegaría a mediados del 2020, como así ha sucedido [47]. Para poder preparar al público afectado, desde 2005 LACNIC ha llevado a cabo los primeros esfuerzos de capacitación y entrenamiento presenciales en IPv6 en Latinoamérica y el Caribe. La primera iniciativa comienza con el IPv6 tour en el año 2014 con una ronda de visitas a varios países de la región con el objetivo de concientizar, ayudar a prepararse y capacitar a los ISP en el despliegue del nuevo protocolo. Durante las primeras visitas los ISPs no estaban al tanto del agotamiento y tampoco tenían planes de realizar el despliegue, sino que planeaban utilizar NAT [44]. Además de las capacitaciones presenciales LACNIC ofrece diversos cursos en línea sobre IPv6 desde el año 2015, logrando capacitar a más de 23700 profesionales de todo el territorio de Latinoamérica y el Caribe en estos años. Otro hito importante que ayuda con el involucramiento y a la adopción de IPv6 es el World IPv6 y el World IPv6 Launch Day. En estos días establecidos internacionalmente, se realizan eventos tanto online como presenciales sobre IPv6 en todo el mundo.

En comparación con el resto de las regiones, LACNIC tiene el mayor porcentaje de asociados que ya han recibido espacio IPv6. Más del 95 % de los asociados de LACNIC además de tener espacio IPv4, ya cuentan con asignación de espacio IPv6. Es importante tener en cuenta que LACNIC tiene como política la asignación del espacio IPv6 cada vez que se solicite espacio IPv4. A pesar de que el usuario no lo necesite al momento de la solicitud, deberá recibirlo para motivar su utilización a largo plazo. La región de LACNIC tiene el mayor porcentaje de redes habilitadas para tráfico IPv6, con alrededor de 45 % de los 9000 sistemas autónomos de la región que están anunciando IPv6 [48]. A pesar de lo anterior, el despliegue efectivo de redes con tráfico IPv6 en LACNIC está cerca del 20 %, aún por debajo de los niveles de despliegue global, que se acercan al 30 %. De acuerdo al estudio publicado por Alejandro Acosta [49], donde se muestra el estado de visibilidad de prefijos IPv6 en LACNIC, se concluye que la cantidad de anuncios de prefijos IPv6 no alcanza ni el 50 % del número de asignaciones (tabla 4.2).

En la siguiente tabla se puede observar la cantidad de anuncios comple-

tos, parciales, los no anunciados y el porcentaje que representa cada uno. Un anuncio completo representa el anuncio de todo el bloque asignado a una organización. Por ejemplo, si a ANTEL se le asignó el bloque 167.56.0.0/13 y se detecta el anuncio del 167.56.0.0/13, significa anuncio completo. Si en cambio se detecta el anuncio de un 167.56.0.0/22 significa anuncio parcial y si no se detecta ninguna parte del bloque 167.56.0.0/13 significa no anunciado. Según el resultado de este estudio, se puede observar en la tabla a continuación que los países con mayor número de anuncios de prefijos completos son Saint Maarten y República Dominicana con 50 %, seguidos por Brasil con 47.24 %. El país con mayor porcentaje de anuncios parciales es Ecuador con 12.42 %. Luego, el país con mayor porcentaje de prefijos IPv6 no anunciados es Chile, con 80.24 %, seguido por Guyana Francesa con 80 % y Argentina con 79.61 %. Finalmente, el estudio intenta mostrar una perspectiva diferente, identificando cual es el país con mayor porcentaje de anuncios de prefijos, obteniendo como resultado a República Dominicana con un 44.44 %. Se puede concluir que la cantidad de anuncios de prefijos IPv6 para toda la región no alcanza el 50 % del número de asignaciones. Por lo cual, hay mucho por hacer para lograr disminuir la diferencia entre asignaciones y publicaciones.

Leyenda:

AC= Anuncio completo (prefijo asignado = prefijo visto en la Default Free Zone o Tabla de enrutamiento Global (DFZ).

AP= Anuncio parcial (prefijo asignado no se observa en la DFZ sin embargo sí en una subred más chica sí).

NA= No anunciada (no se observa el prefijo asignado ni prefijos más chicos de la misma en la DFZ). Total= Total de prefijos IPv6 del país.

%AC = Porcentaje de AC respecto al Total.

%AP = Porcentaje de AP respecto al Total.

%NA = Porcentaje de NA respecto al Total.

Tabla 4.2: Estado de visibilidad de prefijos IPv6 en la región de Latinoamérica y el Caribe

<i>PAIS</i>	<i>AC</i>	<i>AP</i>	<i>NA</i>	<i>TOTAL</i>	<i>%AC</i>	<i>%AP</i>	<i>%NA</i>
AR	162	28	742	932	17.38	3	79.61
BO	7	2	30	39	17.95	5.13	76.92
BR	3309	300	3395	7004	47.2	4.28	48.47
BZ	7	2	18	27	25.93	7.41	66.67
CL	39	11	203	253	15.42	4.35	80.24
CO	110	29	162	301	36.54	9.63	53.82
CR	40	10	51	101	39.6	9.9	50.5
CU	2	0	3	5	40	0	60
CW	7	0	8	15	46.67	0	53.33
DO	27	3	24	54	50	5.56	44.44
EC	36	19	98	153	23.53	12.42	64.05
GF	1	0	4	5	20	0	80
GT	18	4	21	43	41.86	9.3	48.84
HN	23	1	78	102	22.55	0.98	76.47
HT	3	0	6	9	33.33	0	66.67
MX	47	31	190	268	17.54	11.57	70.9
NI	9	1	12	22	40.91	4.55	54.55
PA	18	6	45	69	26.09	8.7	65.22
PE	17	7	65	89	19.1	7.87	73.03
PY	33	4	33	70	47.14	5.71	47.14
SV	10	2	26	38	26.32	5.26	68.42
SX	3	0	3	6	50	0	50
TT	3	1	7	11	27.27	9.09	63.64
UY	10	2	16	28	35.71	7.14	57.14
VE	32	3	59	94	34.04	3.19	62.77

4.6.2. Análisis del trabajo de campo: entrevistas a los actores seleccionados

En esta sección se realiza un análisis de las entrevistas (ver anexo 2) realizadas a los actores seleccionados en la sección 3.2 durante el trabajo de campo. Se ordena y analiza la información obtenida por temática: esfuerzos por adherirse a la innovación de implementar IPv6, motivación de las organizaciones para realizar el despliegue de IPv6, obstáculos que se presentan durante el despliegue, cómo ha sido la capacitación de personal, cuál es la necesidad de IPv6, estado de implementación de IPv6 de los clientes de los ISP, competitividad en el mercado, posicionamiento de Uruguay a nivel regional sobre el despliegue de IPv6, desarrollo de innovación y acciones que podría implementar el gobierno de Uruguay para estimular el desarrollo de innovación en IPv6.

4.6.2.1. Esfuerzos por adherirse a la innovación de implementar IPv6

Tanto de ANTEL, Telefónica, SeCIU, AGESIC y URSEC se obtuvo una respuesta similar, que se resume en que todas las organizaciones se han sumado al plan de despliegue desde los comienzos de IPv6 en Uruguay con la idea de apoyar la innovación de nuevas tecnologías. Sin embargo, cuando se buscó continuar con el 100 % de la implementación, no hubo interés de sus clientes ni del resto de las organizaciones. De acuerdo a las respuestas brindadas, en Uruguay aún se mantiene un marco conservador ante la llegada de nuevas tecnologías que requieran poner en riesgo servicios que están activos. Por dicha razón, a pesar de hacer los esfuerzos iniciales para apoyar la innovación, en muchos casos las nuevas tecnologías que podrían implicar riesgos en las operaciones, no se terminan de implementar, como es el caso de IPv6.

Desde el comienzo, las organizaciones entrevistadas se sumaron a la iniciativa del IPv6 tour organizado por LACNIC en el 2005. El tour consistía en recorrer varios países de la región. Esta iniciativa hizo que Telefónica Uruguay, quien ofrece servicios de Internet a LACNIC, haya tenido que configurar IPv6 para poder brindarle el servicio necesario a LACNIC, y a raíz de eso continuaron con el despliegue. Lo mismo sucedió con ANTEL, que se sumó al IPv6 tour para ofrecer capacitaciones y para eso su equipo de ingeniería comenzó a realizar pruebas y configuraciones para avanzar con el despliegue. También desde el SeCIU se sumaron a la iniciativa. Como red académica siempre han tratado de

implementar lo innovador, formando parte del proyecto 6bone organizado por la Universidad de Merit en Estados Unidos (EEUU).¹ Luego de que el proyecto quedó operativo, se comenzó a ofrecerlo a las redes académicas en Uruguay. Sin embargo, cuando se ofreció conectividad en IPv6 en modo experimental a todas las universidades ninguna quiso utilizarla. Este es el principal problema que aparece como factor en estos tres casos: falta de interés por parte de otros terceros en continuar con el despliegue. Si bien tanto ANTEL, Telefónica Uruguay y SeCIU han logrado un despliegue de IPv6 bastante avanzado, cuando cada uno se lo ofrece a sus respectivos clientes, ninguno presenta interés para poder avanzar.

Desde los esfuerzos de AGESIC y URSEC, se ha creado un grupo llamado IETF Uruguay, desde el cual se han realizado varias actividades entre equipos técnicos para capacitar e intercambiar ideas sobre IPv6. La principal actividad fue un evento de IPv6 realizado en el LATU. Además, desde la URSEC, se establecieron políticas de compra de nuevos equipos con compatibilidad de equipamiento con soporte IPv6. Otra acción que se realizó fue incluir el tema de IPv6 en la agenda digital. En este marco se realiza un intercambio de buenas prácticas y experiencias exitosas de distintos ISP de la región. También se dicta capacitación. En las reuniones que se hacen en Uruguay el staff de LACNIC comparte información sobre la situación en la región, algunos lineamientos, consejos de cómo avanzar y otras experiencias.

Desde AGESIC se fijó como hito tener IPv6 en los servicios de todos los portales del estado (gub.uy) para el IPv6 day que se celebró en el año 2012. Eso funcionó en forma exitosa y se realizó para impulsar el IPv6 day y se mantuvo así en el tiempo. Sin embargo, ese impulso fue perdiendo fuerzas y al final sólo quedaron los portales y algún sitio adicional, pero el resto no. En este caso también se observa la falta de un plan de acción y seguimiento para poder culminar la implementación de IPv6.

4.6.2.2. Motivación

ANTEL

En ANTEL la principal motivación surgió del equipo de ingeniería, que en

¹El proyecto 6bone consistía en conectar la red académica a una red experimental 6bone de la Universidad de Merit en EEUU. Como no había IPv6 nativa, se conectaba todo a nivel de túneles.

tendía la necesidad que se planteaba de satisfacer requerimientos para participar del IPv6 tour junto a LACNIC y lo que implicaba la nueva tecnología como estrategia a futuro. De esta forma el proyecto empezó a crecer y tomar forma. Desde el 2006 al 2010 se realizó la habilitación del protocolo en todas las conexiones con otras redes, tanto de aquellas que proporcionaban sólo tránsito, como la red de clientes. También se realizaron algunas pruebas con clientes de Acceso a Internet Empresarial y en la red móvil 3G. Más tarde, se actualizaron los sistemas operativos de diversos equipamientos de red y se configuró el protocolo IPv6 en la red de agregación de servicios empresariales y en las redes que soportaban la infraestructura de Red de Distribución de Contenidos (CDN). La red quedó lista para encaminar el protocolo IPv6 (acceso, red IP-MPLS, backbone de Internet, enlaces internacionales). Durante el año siguiente se definió el modelo de servicio residencial con soporte dual-stack (tanto en IPv4 como en IPv6) y se comenzó a exigir, desde ese momento, el soporte de IPv6 en todas las compras de infraestructura de servicio. Con la compra de los nuevos equipos se cerró el tema de escalabilidad, la red no solo era compatible a nivel de hardware y software con el protocolo IPv6, sino que pasó a ser de dimensiones adecuadas para soportar este protocolo en todos los clientes residenciales. En el año 2014 se comenzó a soportar el protocolo en los servicios empresariales y se configuró un Punto de acceso (APN) de prueba dual-stack usando la tecnología (Long Term Evolution) (LTE). Durante el 2016 y comienzos de 2017 se validaron los modelos de servicio fijos y móviles, se realizaron actualizaciones en equipos de la red de acceso óptico y se capacitó a los grupos de operación y soporte de reclamos. En el 2017 se comenzó la habilitación de IPv6 en servicios residenciales y para fines de 2018 se completó el trabajo posicionando a Uruguay en el lugar 5 del mundo con cerca de un 30 % de adopción del protocolo.

Telefónica

La directiva de Telefónica global envió al resto de los países, entre ellos, Telefónica Uruguay, una recomendación de implementar IPv6, pero no como un requerimiento. Si bien se ha implementado y avanzado mucho en IPv6, desde Telefónica Uruguay, aún no se llega a cumplir con el 100 % de la recomendación.

La principal iniciativa de implementación surgió desde el área de ingeniería. LACNIC, como cliente de Telefónica solicitó habilitar el tránsito en IPv6, y

esa fue la principal razón para empezar a hacerlo. A partir de ese momento se levantaron los equipos con dual stack, se hizo Virtual Private Network (VPN) v6 para algunos tráficos de IPv6, y también para voz sobre LTE.

SeCIU

SeCIU afirma que como red académica, siempre trata de implementar lo innovador (ver anexo 2. María Cervantes (parte del área docente del staff de SeCIU)) realizó su tesis sobre la conexión de la red académica al proyecto 6bone, en el año 2000. Luego de que el proyecto quedó operativo, se comenzó a ofrecer el servicio IPv6 a las redes académicas en Uruguay (incluyendo al Instituto Pasteur, la Universidad ORT, entre otros). Sin embargo, cuando se ofreció conectividad en IPv6 en modo experimental a todas las universidades, ninguna quiso utilizarla y esa es la principal limitante para la implementación completa de IPv6. Además del proyecto 6bone, se tenían relaciones con otras universidades y se establecieron túneles con la RNP (la red académica de Brasil), la Universidad de La Plata (en Argentina), RETINA (Argentina) y UNAM (México). En esta etapa el SeCIU contaba con un bloque de experimentación, luego, cuando LACNIC comenzó a asignar prefijos IPv6, les asignó un prefijo 2001:1328::/32 definitivo (20 de julio de 2004). Durante el año 2005 se realizó el IPv6 tour, en el cual el SeCIU participó y expuso su experiencia. Luego, se empezó a configurar el despliegue de IPv6 para cada universidad. Al igual que se hizo en IPv4, se le ofreció a ANTEL realizar pruebas en IPv6. ANTEL aceptó y se logró acceder a Internet a través de IPv6 y finalmente ANTEL pidió su propio bloque IPv6. A nivel de DNS, al ser administradores del dominio .uy, debían ofrecerlo también con IPv6. Su servidor primario operaba con IPv6 desde el 2005. A partir del 2009, se modificó el servicio de registro para que un nombre de dominio UY pudiera registrarse con direcciones IPv6. A pesar de esto, hoy en día hay apenas un par de decenas de estos servidores DNS funcionando correctamente en IPv6.

4.6.2.3. Obstáculos

ANTEL

Los mayores obstáculos han sido a nivel de interés de implementación por

parte del cliente debido a que IPv6 es un servicio invisible para el usuario final. Éste no ve la necesidad de implementarlo, por lo cual, si bien desde ANTEL la red está pronta para ser utilizada en IPv6, el cliente no lo pide. Otro obstáculo para la implementación fue que para tomar las decisiones que pueden impactar en el usuario hay que pasar por procesos largos que involucran a muchas personas y, la necesidad de implementar IPv6 no llega a satisfacer el riesgo que puede implicar (destinar muchas horas en pruebas, cambios de configuración en la red necesarios, entre otros). Por ejemplo, durante el período de pruebas para la implementación de IPv6, en el área de servicios empresariales surgió un problema, y por mas que se podría haber resuelto fácilmente, se decidió no habilitar IPv6 por defecto, porque no se encontró una necesidad que lo justificara. Adicionalmente, la parte móvil hace tiempo está pronta para ofrecerse en IPv6, pero aún no se ha realizado. No han recibido solicitudes de sus clientes para hacerlo. Lo que sucede muchas veces es que desde el área de tomadores de decisiones de una empresa, consideran que el riesgo que les implica realizar el cambio a IPv6 no justifica la cantidad de reclamos que puedan llegar a tener, y que además, aunque se haga, el cliente no lo usa ni lo pide. Actualmente no hay IPv6 por defecto para clientes empresariales, pero está disponible para todo aquel que lo pida. En la práctica, lamentablemente muy pocos lo piden. Otra dificultad es en la implementación en algunos dispositivos domésticos, por ejemplo: los smart TVs, que no lo implementan bien. Muchas veces el vendedor dice que funciona, pero en la práctica no funciona realmente, y esto implica un riesgo. Según lo que indican en ANTEL, toda nueva tecnología traerá consigo nuevos problemas que irán surgiendo y habrá que ir solucionando, pero lo que observan es que la mayoría de tomadores de decisiones de las empresas no ven la necesidad de enfrentarlos aún.

Telefónica

Levantar IPv6 genera nuevos problemas y para cliente final el valor es invisible, ya que no percibe un beneficio adicional. Según lo que indica Telefónica Uruguay, en el momento de la implementación de IPv6 en el sistema comercial surgieron problemas porque la red no entendía IPv6. Si bien eran problemas fácilmente solucionables, se decidió no avanzar en la implementación, por el balance del riesgo/beneficio que esto podría implicar. Por otra parte, para servicios móviles la implementación de IPv6 tiene un costo mayor

porque se levantan dos sesiones: una IPv4 y una IPv6, y es necesario pagar una licencia por cada sesión. Si bien hoy en día no debería representar un costo considerable, hace un tiempo sí. Este tipo de cosas han sido obstáculos que representaban riesgos y que frenaron la implementación. Hay mucho temor y desconocimiento desde el área de operaciones y es difícil asumir riesgos para los que no se obtendrá un beneficio a cambio. La implementación de IPv6 no mejorará la situación actual para el cliente.

SeCIU

Debido al proyecto 6bone, ya se tenía experiencia previa, por lo cual no se tuvieron mayores obstáculos en cuanto a la implementación. El obstáculo más grande venía por el lado de que no todos los proveedores de equipamientos tenían IPv6 muy estable (conocido como: IPv6 ready). Por lo tanto siempre que el SeCIU compra equipamiento se requiere que tenga “IPv6 ready”, que sea compatible con IPv6. Según el equipo de SeCIU, al principio todo lo relacionado con IPv6 era más complejo porque había muy poca información, algunos equipos no lo soportaban y no había mucho a quien preguntar. Hoy en día esto ha cambiado y hay mucha información y redes a las cuales consultar.

URSEC

Desde URSEC identifican que si bien en un momento se transmitió a las empresas la importancia de pasar a IPv6, el mayor obstáculo que causa la lenta transición es el usuario final, quien no identifica una necesidad por el nuevo protocolo. No hay una motivación económica, ni de mejora de servicio que lo obligue a generar un cambio. Uno de los mayores desafíos es cómo convencer al usuario que cambie su router si él no percibe el problema. El usuario final no enfrenta a una realidad evidente que lo haga decidir que hay que cambiarse a IPv6. De ser así el nivel de adopción tendría que haber sido mayor. La capacitación de los técnicos también es necesaria. Por otra parte, en muchas ocasiones hay otras prioridades.

AGESIC

Los principales obstáculos para la implementación de IPv6 son del lado de

los clientes, quienes consumen los servicios y no tienen la necesidad de pasar a IPv6. Otra limitante es la seguridad (firewalling), ya que no todos los técnicos tienen la capacitación necesaria, no solo desde el lado del usuario final sino que también desde el lado de quien brinda un servicio en IPv6.

4.6.2.4. Capacitación de personal

ANTEL

ANTEL venía manejando la capacitación en IPv6 desde hacía un tiempo: desde el comienzo del IPv6 tour, y luego continuó capacitando a su personal continuamente porque entendía que era la necesidad del futuro. Recién en el año 2017 se puso en producción, por lo cual se tuvieron varios años previos para capacitar al personal operativo.

Telefónica

Telefónica fue capacitando personal desde los comienzos que surgió la iniciativa de implementación del nuevo protocolo. La gente de operaciones de datos tomó varios cursos sobre IPv6. De todas formas, según indica la gente de Telefónica, si bien muchos de sus ingenieros asistieron a cursos de IPv6, también deben adquirir experiencia y confianza para poder resolver los problemas en IPv6.

SeCIU

Inicialmente eran solo dos personas del staff docente del SeCIU (Sergio Ramírez y María Cervantez) que comenzaron con el proyecto de IPv6. Luego, con el IPv6 tour hubo un gran interés por parte de gente de ANTEL, gente de la Facultad de Ingeniería y personas individuales, quienes juntos formaron el equipo de trabajo “IPv6 task force” de Uruguay que trabajaron en conjunto para fomentar la capacitación y la implementación de IPv6 en Uruguay. En ese marco había una gran motivación, incluso se realizó una jornada doble de capacitación en el LATU con gran éxito e interés en el año 2008. De esta forma desde SeCIU fueron sumando y contribuyendo para hacer crecer la red de capacitados en IPv6 en Uruguay.

4.6.2.5. Necesidad de IPv6

De acuerdo a lo que menciona URSEC 2, en algunos países ha sido más fácil detectar la necesidad de IPv6, ya que varias empresas hacían doble NAT, lo que ocasionaba quejas sobre la calidad del servicio que se estaba dando. Eso obligó a las propias empresas a implementar IPv6 para mejorar el servicio brindado al usuario final. Adicionalmente, desde el punto de vista de la URSEC las redes de los operadores móviles podrían tener efectos de mejorar las prestaciones móviles.

4.6.2.6. Estado de la implementación IPv6 para los clientes

ANTEL

Actualmente ANTEL ofrece a sus clientes residenciales IPv6 por defecto, mientras que los clientes corporativos tienen la opción de obtenerlo solamente si lo solicitan. Sin embargo, casi ninguno lo solicita.

Telefónica

Telefónica Uruguay tiene implementado IPv6 en la red de transporte, bordes de Internet y tránsito. También ofrece IPv6 a los clientes corporativos que llegan por enlaces fijos. Brindan servicios en IPv6 a quienes lo pidan, pero actualmente, según indica la gente de Telefónica, solamente dos clientes lo han pedido.

SeCIU

Actualmente SeCIU ofrece conectividad a Internet a nivel de backbone garantizada en IPv6 para cada facultad, luego depende de cada facultad la implementación en su red. Hoy en día son muy pocos los que tienen habilitado IPv6: Universidad de Derecho, algunas unidades del interior (Salto, Rocha, Maldonado, Treinta y Tres), Centro de Investigación industrial (CIN), Facultad de Ciencias, Facultad de Arquitectura y el propio SeCIU. La mayoría de universidades no lo implementan porque no ven la necesidad y siempre hay otras prioridades. El SeCIU hizo recomendaciones de implementación de IPv6 e incluso se ofrece soporte para quienes lo soliciten. Hay algunos servicios que

ninguna de las tres organizaciones ha desplegado por obstáculos pequeños que podrían solucionarse pero que la gestión administrativa no considera necesario hacerlo.

4.6.2.7. Competitividad en el mercado

Ninguna de las tres organizaciones entrevistadas ha tenido una valoración considerable de sus clientes por ofrecer servicios en IPv6. Esto se explica porque IPv6 es invisible para el usuario final. La mayoría de los usuarios finales no saben qué es una dirección IP y menos aún IPv6. Solamente han recibido algunos mensajes de grupos reducidos que tienen conocimiento del tema, en el caso de Telefónica, solamente de clientes internacionales, pero nada más que eso.

4.6.2.8. Posicionamiento de Uruguay a nivel regional sobre el despliegue de IPv6

Desde URSEC observan que los países tienen una gran desigualdad en cuanto al nivel de despliegue. Uruguay y Brasil están por arriba con un alto nivel de despliegue, mientras que Argentina y Paraguay están con niveles bastante por debajo. En particular, en Uruguay, el gran despliegue que ha realizado ANTEL contribuyó notoriamente. Por otro lado, faltaría dar un impulso al resto de las organizaciones para que el despliegue sea más efectivo.

4.6.2.9. Desarrollo de innovación

ANTEL

Cuando ANTEL comenzó con el plan piloto se le empezó a ofrecer a los clientes como prueba de los servicios en IPv6, y los grupos operativos se empezaron a involucrar más. Llevar todo al backbone de agregación llevó un tiempo porque significó varias horas de prueba, pero finalmente se logró llegar al cliente. Sin embargo, casi nadie estaba interesado en IPv6, por más que se podía llegar al cliente, finalmente a muy pocos les interesaba. Se esperaba que los espacios académicos que son quienes más trabajan en investigación, desarrollo e innovación, iban a venir a pedir servicios en IPv6, pero tampoco lo hicieron. Por lo cual, por lo menos hasta el momento ANTEL no ve una demanda de

servicios en IPv6 por parte de sus clientes, ni un deseo de desarrollo de innovación con relación a la implementación de IPv6, al menos hasta ahora.

Telefónica

Según Telefónica, el principal obstáculo que dificulta la implementación de IPv6 como innovación en Uruguay es que no hay demanda, hay un freno, y por eso es difícil justificar un proyecto que significa gastar recursos si no se ve un problema a corto plazo con el negocio. Se espera que pronto se empiece a notar IPv6 en Uruguay, pero aún falta para poder observarlo.

De acuerdo con Telefónica, una acción que podría implementar el gobierno de Uruguay para estimular el despliegue de IPv6 es asegurarse que los portales públicos estén disponibles en IPv6. Eso ayudaría a darle visibilidad al tema, ya que no se nota tanto la falta de IPv6. Al consultar a la gente de Telefónica que ventajas consideran que ofrece la implementación de IPv6, respondieron que IPv6 es un parche de IPv4 con mayor cantidad de direcciones. Indican que varias cosas que se buscaban resolver inicialmente no se resolvieron, se usan los mismos protocolos de ruteo, y no se logró resolver temas a nivel de seguridad, ni de funcionalidades. Además, mencionan que no hay grandes cambios más allá que la autoconfiguración, pero no a nivel de ruteo. Desde el punto de vista del que lo va a usar, la única ventaja es que tiene más direcciones. Con respecto a su necesidad para IoT, hay varias soluciones tentativas que resuelven el problema de direcciones IP limitadas. El problema más grande es para un nuevo proveedor que ingresa en el mercado y no tiene IPv4. Ninguno de los mayores ISP de Uruguay tienen problemas de agotamiento porque ninguno de los clientes exigen direcciones IP públicas. Hay que estar listo porque en algún momento va a surgir la necesidad.

SeCIU

De acuerdo a SeCIU, el contexto en Uruguay tiene sus ventajas y sus desventajas, teniendo en cuenta que ANTEL a nivel de conectividad fija tiene el monopolio. El argumento en contra es que mientras ANTEL no lo haga, nadie tendrá IPv6. El argumento a favor es que si ANTEL lo implementa, se masificará y se logrará un despliegue completo de IPv6. Según SeCIU, dentro del ámbito gubernamental ayudaría que el estado indique que el que se conecta a

IPv6 podría realizar trámites más rápidos (o algún beneficio a los particulares o a los ISP). La implementación de IPv6 estuvo en forma explícita en las agendas digitales anteriores. En la última no figura en forma explícita. Otra acción que contribuiría es que los principales actores (Google, Facebook, etc.) hagan diferencia entre IPv4 e IPv6.

SeCIU considera que la implementación de IPv6 es innovadora para los que trabajan en infraestructura. Sin embargo, al usuario final le da lo mismo. IPv6 debería ser la base para que surjan nuevas cosas, innovación. Además, indican que con innovaciones como IoT también debería aparecer la necesidad de tener direcciones IPv6.

4.6.2.10. Acciones que podría implementar el gobierno de Uruguay para estimular la implementación de IPv6

URSEC

Debido a que ANTEL es el proveedor más grande en Uruguay, si ellos logran el despliegue completo podrían hacer una diferencia sustancial. Sin embargo, de poco sirven los casos aislados como se ha visto hasta ahora. Se necesita el impulso de todos los actores. Para los ISP realizar el cambio tiene un costo, por eso hay que trabajar en equipo. Una posibilidad sería armar un grupo de trabajo para comenzar a trabajar en conjunto estableciendo un plan de trabajo con acciones planificadas desde ahora hacia los próximos cuatro años. Por lo cual, aún hay trabajo por hacer.

AGESIC

En primer lugar hay que trabajar en el usuario final, que es la última milla y uno de los principales limitantes actualmente. Otro desafío a nivel de estado es publicar todos los servicios en IPv6. Hay muchas acciones que se podrían ejecutar: difundir mejores prácticas, más información, llevar a las empresas a publicar sus servicios en los dos protocolos. Se logró un hito, pero no se ha alcanzado el caso ideal porque los actores involucrados aún no están coordinados para avanzar. Por lo cual se debería trabajar en un plan común entre todos. Otra posible acción sería ver algún punto de la próxima agenda digital para armar un grupo y comenzar a trabajar con un plan de acción

concreto que involucre a todos los actores. Le falta de una fecha de caducidad de IPv4 es lo que dificulta la implementación total de IPv6. Por eso es necesario el impulso de todos los dispositivos conectados.

4.6.3. Resumen

En esta sección se presentan y se analizan varios datos sobre la implementación de IPv6 partiendo del agotamiento de IPv4, la necesidad de IPv6 y los principios originales para el diseño de IPv6. Luego se contrastan estos principios con la situación real estudiando el caso de algunos actores representativos de Internet para Uruguay y entendiendo que los objetivos originales que planteaba el protocolo no prevalecen como tales. Además, se estudia que la implementación del protocolo IPv6 es considerado una innovación. Sin embargo, se halla que no se ha aplicado una metodología de innovación para ejecutar su despliegue y se identifican los principales obstáculos.

Otro de los hallazgos obtenidos en esta sección, es que si bien se comenzó a anunciar que IPv4 se agotaría hace más de 15 años, aún está lejos de desaparecer. Varias organizaciones colaboran para promocionar el uso de IPv6 y ofrecer capacitaciones. Sin embargo, aún no se ha logrado el despliegue esperado. Adicionalmente, para contribuir contra el despliegue, se crearon alternativas para seguir existiendo sin IPv6, como el mercado de transferencias de direcciones IPv4 y el Carrier grade NAT.

Con respecto a una de las ventajas que presentaba en sus orígenes IPv6 sobre seguridad, se observa que si bien se recomienda el uso de IPSec, aún existen vulnerabilidades de seguridad en IPv6. Por lo cual deja de ser una ventaja diferencial con relación a IPv4. Finalmente, otro hallazgo es que la característica de transparencia en el propio diseño de IPv6 conspira contra su adopción. Esto se identifica como una falla en la innovación porque esta característica de su diseño no logró captar la motivación para la adopción de la innovación. El usuario necesita una necesidad o motivación para invertir en una innovación y asumir los riesgos que ella conlleva. En el caso de IPv6 como innovación, es transparente para el usuario, por lo cual el usuario no ve un cambio en la nueva tecnología, haciendo que pierda el valor de la novedad y haciéndola despreciable para el usuario final. Para los usuarios es necesario tener una tecnología tangible que lo motive a invertir en el cambio. Mientras que no haya una necesidad clara o una tecnología tangible asociada a IPv6, posiblemente

la implementación de IPv6 siga tardando cada vez más. Las empresas deciden si invertir en innovar basándose en los conceptos de competitividad, de estrategia empresarial, y a la interacción dinámica entre los elementos críticos de esta estrategia. En el caso de IPv6 no es fácil demostrar la mejora en el modelo de negocios al implementar esta nueva tecnología. La innovación, además del mantenimiento de la competitividad de la organización y su mejora, debe tener definido un propósito, fin o resultado esperado en sí misma. En este caso, si bien el fin original de IPv6 era lograr aumentar la cantidad de direcciones disponibles, actualmente la escasez de IPv4 ha sido solventada con soluciones alternativas (como NAT, etc.) que han logrado evadir la necesidad de obtener IPv6. Por lo tanto, el fin con el cual se creó IPv6 ya es obsoleto. Esto perjudica a que la implementación de IPv6 como innovación tenga un fin.

Capítulo 5

Mediciones de la implementación de IPv6 como innovación

En la sección 3.3 se selecciona el modelo de la London Business School como métrica para medir la innovación. En este capítulo se aplica ese modelo para medir el grado de implementación de IPv6 para cada actor seleccionado en esta investigación.

5.1. Definición de una escala para la medición

Para medir el desarrollo de IPv6 como innovación, es necesario obtener resultados cuantitativos para cada uno de los actores seleccionados 3.2.1. El modelo de la London Business School es un modelo sistémico que expone las tareas clave en lo que hoy se pueden considerar como las competencias organizativas necesarias para gestionar la innovación en forma eficiente. Como se explica en la sección 3.3 estas competencias son: generación de nuevos conceptos, desarrollo de nuevos productos o servicios, innovación en los procesos y la adquisición de tecnología. Además, estas etapas deben cumplir tres condiciones: contar con talento humano y financiero, contar con un uso adecuado de los sistemas, de las herramientas adecuadas y con el apoyo de la gerencia de la organización. Sin embargo, este modelo no presenta una forma de cuantificar cada competencia, por esta razón se decide definir una escala para poder hacerlo.

Se decide trabajar con una escala simple para todas las mediciones, por eso inicialmente se propone con una escala de tres niveles: bajo (1), medio (2), alto (3). Sin embargo, al aplicar esta escala al modelo, no se logró diferenciar el grado de avance de las organizaciones seleccionadas. Por esta razón, se decide trabajar con una escala un poco más grande con cinco niveles: muy bajo (1), bajo, (2) medio (3), alto (4) y muy alto (5). Una vez definida la escala, basándose en las entrevistas realizadas y a la información obtenida durante la investigación, se elabora una ponderación subjetiva con esa escala (1 al 5) para medir el grado de cumplimiento de cada actor seleccionado (ANTEL, Telefónica, SeCIU, AGESIC, URSEC) de cada una de las tareas clave y condiciones establecidas planteadas por el modelo de la London Business School.

A continuación se gradúa la métrica con ejemplos de lo que representaría cada valor en la escala del 1 al 5 con relación a la implementación de IPv6 para cuantificar la métrica con cada una de las tareas clave y de las condiciones establecidas.

5.1.1. Tareas clave

En esta sección se dictan ejemplos para poder asignar un puntaje a los actores seleccionados sobre cada una de las tareas clave.

- Generación de nuevos conceptos
 - Muy bajo (1): este puntaje se asigna a las organizaciones en las que la mayor parte de sus trabajadores no sabe qué es IPv6, no están familiarizados con el concepto.
 - Bajo (2): este puntaje se asigna a las organizaciones en las que únicamente el área técnica conoce el concepto de IPv6. Sin embargo, otras áreas como atención al cliente, comercial, entre otros, no están al tanto de que existe un protocolo llamado IPv6. Esto se confirma con hechos como: no hay publicaciones en su sitio web de servicios en IPv6, tampoco hay respuesta de consultas sobre IPv6 en atención al cliente.
 - Medio (3): este puntaje se asigna a organizaciones en las que al menos el 50 % de sus trabajadores está al tanto de la existencia del nuevo protocolo IPv6, saben que las direcciones IPv4 se están

agotando, que existe un nuevo protocolo llamado IPv6 y que su organización ofrece servicios en IPv6.

- Alto (4): este puntaje se asigna a organizaciones en las que al menos el 50 % de la organización conoce el nuevo protocolo IPv6, además, a diferencia del puntaje anterior (3), conoce los servicios que su organización ofrece en IPv6 para poder realizar las configuraciones necesarias y brindar soporte a sus clientes.
 - Muy alto (5): este puntaje se le asigna a las organizaciones en las que todo el personal de la organización conoce que existe un nuevo protocolo que se llama IPv6, reconoce los servicios y productos que su organización ofrece en IPv6 y puede dar soporte al cliente sobre este tema.
- Desarrollo de nuevos productos o servicios
- Muy bajo (1): este puntaje se le asigna a las organizaciones que no tienen ningún servicio desarrollado en IPv6. Ningún servicio a nivel de core, acceso, etc. Este tipo de organizaciones no ha tenido ninguna iniciativa de comenzar a trabajar con IPv6.
 - Bajo (2): este puntaje se le asigna a las organizaciones en las los servicios que se ofrecen en IPv6 están en una etapa inicial de desarrollo, a nivel de laboratorio o de prototipos. Pueden tener algunos servicios en IPv6 estandarizados, pero la mayoría están en etapa de experimentación y todavía no se han implementado.
 - Medio (3): este puntaje se asigna a las organizaciones que tienen servicios en IPv6 estandarizados en toda la organización. Los servicios que ofrecen en IPv6 ya superaron por las etapas de pruebas necesarias y el servicio se ofrece en forma regular.
 - Alto (4): este puntaje se asigna a las organizaciones en las que los servicios que se ofrecen en IPv6 también tienen soporte a nivel de atención al cliente. Sin embargo, los productos no llegan al cliente final. Si un cliente llama al número de soporte lo pueden asesorar sobre un servicio en IPv6, pero para tener este tipo de servicios incorporados deben ser pedidos especialmente, ya que no se configuran para el cliente por defecto.
 - Muy alto (5): este puntaje se asigna a las organizaciones en las que se han incorporado servicios nuevos con IPv6 y todos los funcionarios

de todas las áreas de la empresa conocen sobre el nuevo concepto. Adicionalmente, todos los servicios se venden en la misma forma tanto en IPv6 como en IPv4.

- Innovación en los procesos
 - Muy bajo (1): este puntaje se asigna cuando no se ha modificado ningún proceso en la organización, los procesos en la organización no han variado en absoluto.
 - Bajo (2): este puntaje se asigna a las organizaciones que han realizado pequeños cambios en procesos del área técnica para la configuración de algunas partes de la red únicamente. El área técnica es la primera que sufre un impacto como consecuencia de la implementación de IPv6, ya que es la que tiene que modificar la configuración de sus redes. Sin embargo, el resto de las áreas sufren un impacto posterior, una vez que el servicio fue probado, estandarizado e implementado.
 - Medio (3): este puntaje se asigna cuando una organización además de realizar algunos cambios de sus procesos en el área técnica, ha logrado superar las primeras pruebas y ha decidido realizar cambios en prácticamente todos los procesos del área técnica para la configuración de sus redes.
 - Alto (4): este puntaje se asigna cuando una organización ha realizado cambios en varios procesos internos de diversas áreas de la organización. En el puntaje anterior (3), se realizaban cambios únicamente a nivel del área técnica. En este puntaje se realizan cambios en procesos internos de varias partes de la organización.
 - Muy alto (5): este puntaje se asigna a las organizaciones que para poder implementar IPv6 en varias áreas de la organización: ingeniería (para configuración de las redes), en atención al cliente (para ofrecer soporte), han modificado procesos internos (en áreas que se relacionan internamente en la organización) como externos (áreas que se relacionan con partes externas). Por ejemplo el ISP que logra que su cliente externo también implemente IPv6.
- Adquisición de tecnología
 - Muy bajo (1): este puntaje se asigna a las organizaciones que tienen la mayor parte de la tecnología de la organización no compatible con

IPv6. Cuando un equipo deja de funcionar y es necesario comprar un sustituto, no tienen una política de requerir la compra de equipos compatibles con IPv6.

- Bajo (2): este puntaje se asigna a las organizaciones que cuentan con tecnología IPv6 compatible a nivel de core en el esquema de una red de telecomunicaciones.
- Medio (3): este puntaje se asigna cuando las organizaciones cuentan con conexiones de peering que soportan IPv6. Se realiza interconexión voluntaria de redes de Internet en IPv6 con el fin de intercambiar tráfico entre los usuarios de cada red.
- Alto (4): este puntaje se asigna a las organizaciones que cuando realizan las compras de equipamiento nuevo, piden que tengan soporte IPv6. Cuando un equipo deja de funcionar deben comprar uno nuevo, aprovechando la compra de un equipo nuevo, tienen como requerimiento soporte IPv6. Además, el core tiene soporte IPv6.
- muy alto (5): este puntaje se asigna a las organizaciones que no cuenten con equipamiento legado IPv4, toda la tecnología tiene soporte IPv6.

5.1.2. Condiciones establecidas

En esta sección se dictan ejemplos para poder asignar un puntaje a los actores seleccionados sobre cada una de las condiciones establecidas.

- Talentos humanos y financiero
 - Muy bajo (1): este puntaje se asigna a las organizaciones que no tiene ningún personal capacitado para poder trabajar con IPv6 ni dispone de recursos financieros para hacerlo. Si bien hay material accesible, nadie en la organización cuenta con el conocimiento necesario para poder realizar los cambios requeridos (de configuración, de procesos, entre otros).
 - Bajo (2): este puntaje se asigna cuando en una organización únicamente el área técnica está capacitada para trabajar con IPv6 y dispone un mínimo insuficiente de recursos financieros para realizar la implementación. Solamente el área técnica conoce sobre el nuevo protocolo, mientras que el resto de las áreas no saben que existe un

protocolo IPv6.

- Medio (3): este puntaje se le asigna a las organizaciones en las que el 50 % del personal está capacitado para trabajar y brindar soporte sobre IPv6 y dispone del 50 % de recursos financieros para poder realizar la implementación. A diferencia del puntaje previo (2) no solamente el área técnica está capacitado para la implementación, sino que también otras áreas lo están.
 - Alto (4): este puntaje se asigna cuando en las organizaciones el 80 % del personal está capacitado para trabajar y brindar soporte sobre IPv6 y dispone de casi todos los recursos necesarios para realizar la implementación.
 - Muy alto (5): este puntaje se asigna cuando las organizaciones cuentan con personal capacitado de todas sus áreas para trabajar con IPv6 y con capacidad para brindar todos los recursos financieros necesarios. Todas las áreas de la organización conocen que existe un nuevo protocolo, los servicios que la organización ofrece en IPv6 y pueden dar soporte sobre esto.
- Uso de los sistemas y las herramientas adecuadas
- Muy bajo (1): este puntaje se asigna cuando las organizaciones no cuentan con los sistemas y herramientas adecuadas para poder implementar IPv6. Servicios que deberían ofrecerse en IPv6 no se ofrecen y obstaculizan el despliegue. Por ejemplo, no se culminaron las configuraciones necesarias o están limitando el servicio IPv6 a un cliente.
 - Bajo (2): este puntaje se asigna cuando en las organizaciones se ofrecen algunos servicios en IPv6, pero no todos.
 - Medio (3): este puntaje se asigna cuando se ofrecen servicios en IPv6, pero no se configuran por defecto en IPv6. Los clientes que lo requieran deben solicitarlo especialmente. De esta forma no se motiva al uso de IPv6.
 - Alto (4): este puntaje se asigna cuando en las organizaciones se ofrecen servicios en IPv6, pero no se promocionan de modo que el cliente los conozca para utilizarlos, por eso no son lo suficientemente conocidos y probablemente por eso no se usan.
 - Muy alto (5): este puntaje se asigna cuando las organizaciones han

incorporado herramientas adecuadas para lograr la implementación, han logrado ofrecer todos los servicios que ofrecen en IPv4 en IPv6. Además, alientan a sus clientes a utilizar los servicios en IPv6.

- Apoyo de la gerencia de la organización
 - Muy bajo (1): este puntaje se asigna a las organizaciones en las que la iniciativa del despliegue de IPv6 proviene de otra área de la organización y la gerencia decide no apoyar la iniciativa.
 - Bajo (2): este puntaje se asigna a las organizaciones en las que la gerencia acepta la iniciativa siempre y cuando no implique cambios en tecnologías en funcionamiento. La gerencia no quiere asumir un riesgo del cual no obtendrá ganancias económicas.
 - Medio (3): este puntaje se asigna a las organizaciones en las que la gerencia acepta la tecnología, pero si implica algún mínimo riesgo en la calidad del servicio, deberá ser descartada. La gerencia acepta el cambio pero no lo considera lo suficientemente bueno para arriesgar servicios activos.
 - Alto (4): este puntaje se asigna a las organizaciones en las que la gerencia apoya la iniciativa y permite implementar nuevos servicios en IPv6 pero si ocurre algún incidente deberá ser descartada. En este punto, a diferencia del anterior, la gerencia está dispuesta a probar, pero si surge algún incidente prefiere no poner en riesgo la calidad del servicio
 - Muy alto (5): este puntaje se asigna a las organizaciones en los que la gerencia determinó que todos los servicios en IPv4 deben ofrecerse también en IPv6 y apoya para tener todo lo necesario para alcanzar los cambios que eso implica.

5.2. Aplicación del método en forma cuantitativa por cada actor de la muestra seleccionada

En la sección 3.2 se define una métrica para seleccionar una muestra de actores representativos para esta investigación, obteniendo como resultado actores de gobierno (AGESIC, URSEC), de la academia (SeCIU), e ISP (ANTEL,

Telefónica). En esta sección se aplica el modelo de la London Business School a los actores seleccionados para asignarle un puntaje (con la escala definida en la sección 5.1) a cada uno de ellos y así evaluar el grado de innovación que han logrado con relación a la implementación de IPv6.

5.2.1. Medición de las tareas clave

En esta sección se asigna un puntaje a cada una de las tareas clave planteadas por el método para cada una de las organizaciones seleccionadas. Tareas clave planteadas por el método:

- Generación de nuevos conceptos

La implementación de IPv6 trae como consecuencia la definición de nuevos conceptos: el entendimiento y uso de un nuevo protocolo. Por ejemplo, hay varios cambios en el protocolo IPv6 con los que los técnicos que administran las redes deben familiarizarse: la cantidad de bits en la dirección IP, las cabeceras, DNSSec, la configuración en las redes para permitir tráfico en IPv6, los métodos de transición, entre otros. Todos estos nuevos conceptos deben ser incorporados por todo el personal técnico que administra las redes. En este caso de estudio, todos los ISP y los actores de la academia seleccionados (ANTEL, Telefónica, SeCIU) se ven impactados por este cambio. Si bien los conceptos de configuración de redes no cambian drásticamente, sí se incorporan nuevos conceptos. Los ISP han realizado algunos cambios, pero aún no brindan todos los servicios necesarios a sus clientes.

En las entrevistas realizadas en el anexo 2, Telefónica declara que la directiva de Telefónica global envió una recomendación de implementar IPv6. ANTEL no ha declarado una iniciativa ni cambio de concepto institucional. En ninguno de los sitios web de ambas empresas (Telefónica ni ANTEL) se presentan servicios de IPv6, tampoco hay información accesible para el cliente final sobre los servicios que ofrecen estos ISP en IPv6. Por esa razón se le asigna un puntaje bajo a ANTEL y a Telefónica, ya que se interpreta que IPv6 no es un concepto establecido en todas las áreas de la organización ni tampoco se intenta llegarle al cliente. SeCIU ha declarado que hizo recomendaciones de implementación de IPv6 e incluso ofrece soporte para quienes lo soliciten. Por esta razón se

les pone el puntaje alto a SeCIU, debido a que ofrecen soporte, brindan recomendaciones y varias áreas de la organización lo conocen. Luego, los actores de gobierno (AGESIC, URSEC) tampoco declaran haber realizado cambios de conceptos en sus organizaciones más que colaborar en el IPv6 day o en levantar algunos portales de gobierno en IPv6. Por lo tanto, sin ser por el área técnica, no tienen contacto con estos nuevos conceptos, se les asigna un puntaje bajo.

- Desarrollo de nuevos productos o servicios

IPv6 trae como consecuencia la adaptación de sistemas y configuraciones de las redes. Los sitios web han tenido que adaptar sus configuraciones para aceptar tráfico IPv6 o los mecanismos de transición necesarios. De acuerdo con lo publicado por WorldIPv6 Launch [31] sitios de contenido importantes como: Facebook, Google, Yahoo tienen habilitado el tráfico en IPv6 desde el año 2012 y cada vez son más los sitios que también lo habilitan. Las redes de telefonía celular también han tenido que adaptarse y reconfigurarse con la implementación de IPv6. Todo dispositivo que necesite una conexión a Internet ha tenido que ser modificado para soportar la implementación del nuevo protocolo.

ANTEL declara en las entrevistas reflejadas en el anexo 2 que con respecto a nuevos servicios en IPv6, desde el 2006 al 2010 se realizó la habilitación del protocolo en todas las conexiones con otras redes, tanto de aquellas que proporcionaban sólo tránsito, como la de clientes y se realizaron algunas pruebas con clientes de Acceso a Internet Empresarial y en la red móvil 3G. Más tarde, se actualizaron los sistemas operativos de diversos equipamientos de red y se configuró el protocolo IPv6 en la red de agregación de servicios empresariales y en las redes que soportaban la infraestructura de CDNs (Redes de Distribución de Contenidos). En el 2017 se comenzó la habilitación de IPv6 en servicios residenciales y para fines de 2018 se completó el trabajo. Sin embargo, los entes de gobierno declaran que ANTEL no ofrece servicios IPv6 sobre BGP en el datacenter de Pando, limitando el despliegue. Por esta razón, se le asigna un puntaje bajo ANTEL por limitar el despliegue al no ofrecer uno de sus servicios en IPv6 a sus clientes. Si bien el puntaje bajo hace referencia a tener productos en etapa en desarrollo, y ANTEL ya brinda

varios servicios en IPv6, al no tener servicios de BGP en su datacenter, significa que ese servicio aún no está estandarizado limitando el servicio de IPv6 a otros. Telefónica declara que la red de transporte, bordes de Internet y tránsito está en IPv6. Se ofrece IPv6 a los clientes corporativos, a los que llegan por enlaces fijos. Es decir, pueden dar tránsito por IPv6 a quienes lo piden. Por otra parte, la implementación de IPv6 podría haber causado el desarrollo de más productos y servicios que no lo ha hecho. En algunos ISP aún no se han habilitado servicios en IPv6, como por ejemplo, la configuración de la delegación reversa en IPv6. Por estas razones se le asigna el puntaje medio a esta tarea para Telefónica. Si bien sus productos están estandarizados, no se ofrecen por defecto y el soporte al cliente no está disponible en todos los casos. SeCIU declara que actualmente la conectividad a Internet a nivel de backbone está garantizada para cada facultad, hacia adentro depende de cada facultad, pero la mayoría no lo han implementado. Entonces se le asigna un puntaje medio a SeCIU, porque los servicios que se ofrecen en IPv6 están estandarizados y se ofrecen en forma regular. Sin embargo, los productos no llegan al cliente final, ya que la mayoría de Facultades aún no lo han realizado, tienen menos servicios pendientes que habilitar en IPv6 que los ISP. URSEC y AGESIC declaran que se ha creado un grupo llamado IETF Uruguay desde el cual se han realizado varias actividades entre equipos técnicos para capacitar e intercambiar ideas sobre IPv6, han tenido que mudar varios de sus servicios (portales de gobierno) a IPv6. Sin embargo, la transición no ha sido completa y no han tomado iniciativas más significativas para impulsar el despliegue. Por esta razón se le asigna un puntaje bajo.

- Innovación en los procesos

La implementación de IPv6 ha significado un cambio en la configuración de las redes de los proveedores de Internet, de proveedores de contenido, técnicos y de todo aquel que ha tenido que configurar un dispositivo para conectarse a Internet. Los procesos de configuración para direcciones IPv4 que funcionaban desde hace años, han tenido que ser cambiados para poder realizar las configuraciones en IPv6. No solamente para los técnicos sino que también para los procesos de atención al cliente. Cuando un cliente llama a reclamar por un servicio en IPv6, los ISP deberían

dar soporte a ese tipo de reclamo. Deberían adaptar sus procesos de atención al cliente para poder implementar los cambios necesarios. La implementación de IPv6 involucra tanto al ISP como al usuario final y los procesos deberían adaptarse para poder hacer partícipes a todos los actores involucrados. Algunos de los ISP de Uruguay han declarado haber capacitado a su personal técnico pero no han adaptado sus procesos de atención al cliente para poder dar asistencia con IPv6.

Cuando ANTEL comenzó con el plan piloto de implementación de IPv6 se le ofrecieron a los clientes como prueba servicios en IPv6, y los grupos operativos se empezaron a involucrar más. Sin embargo, casi nadie estaba interesado en IPv6, por más que se podía llegar al cliente, finalmente a muy pocos les interesaba. Se esperaba que los espacios académicos que son quienes más trabajan en investigación, desarrollo e innovación, iban a venir a pedir servicios en IPv6, pero tampoco lo hicieron. Por lo cual, por lo menos hasta el momento, desde ANTEL no han detectado una demanda de servicios en IPv6, ni un deseo por innovación en IPv6. Por esta razón se le da un puntaje bajo a ANTEL, porque ha realizado cambios de procesos en el área técnica, pero no de la mayoría de sus procesos, como se comenta en la entrevista varios de sus servicios se siguen brindando en IPv4. A SeCIU se le asigna un puntaje medio, debido a que se han realizado grandes cambios en varios procesos del área técnica para la configuración de sus redes en IPv6. Si bien se han incorporado algunos procesos nuevos para poder acompañar la implementación en las redes académicas, no ha sido lo suficientemente significativo para que los ISP lo valoren. Telefónica indica que ninguno de los ISP más grandes de Uruguay tienen problemas de agotamiento porque ninguno de los clientes les exigen direcciones IP públicas. Por esta razón se observa que Telefónica no ha adaptado demasiados procesos porque no siente la necesidad de hacerlo (solamente en el área técnica), entonces se le asigna un puntaje bajo. En entes de gobierno tampoco han modificado sus procesos para poder adoptar IPv6, por esta razón se le da un puntaje muy bajo.

- Adquisición de tecnología

El uso de IPv6 en algunos casos, requiere adoptar nuevo hardware. Equipos viejos que no soportan IPv6, han tenido que ser cambiados para po-

der utilizar la nueva tecnología. Sin embargo, esto no ha sido un obstáculo para ninguno de los actores. La mayoría han declarado en las entrevistas realizadas en el anexo 2 que al momento de necesitar comprar nuevos equipos se piden directamente con soporte a IPv6, lo cual no representa un costo adicional. Actualmente la mayoría de equipos tienen soporte a IPv6. Esta tarea es evaluada con un puntaje alto para el SeCIU que declara que todos sus equipos tienen soporte IPv6 y que cada vez que hacen un cambio de equipo por defecto se pide que tenga soporte IPv6. Sin embargo, a ANTEL y a Telefónica se les asigna puntaje medio porque en las entrevistas surge que aún no ofrecen algunos de sus servicios en IPv6. Los entes de gobierno, en algunos casos han adoptado equipos con soporte IPv6 pero no ha sido algo genérico, por eso se le asigna un puntaje bajo.

A continuación se expresan en la tabla 5.1 los resultados obtenidos:

Tabla 5.1: Tareas clave planteadas por el método de la London Business School por cada actor seleccionado

Tareas clave planteadas por el método	ANTEL	Telefónica	SeCIU	URSEC	AGESIC
Generación de nuevos conceptos	2	2	4	2	2
Desarrollo de nuevos productos o servicios	2	3	3	2	2
Innovación en los procesos	2	2	3	1	1
Adquisición de tecnología	3	3	4	2	2
Promedio	2,25	2,5	3,5	1,75	1,75

A continuación se ilustran los resultados obtenidos a través de un gráfico de radial para poder identificar los resultados obtenidos en la figura 5.1.

De la tabla 5.1 se observa que en la escala establecida del 1 al 5, siendo 1 el puntaje muy bajo, 2 bajo, 3 medio, 4 alto y 5 más alto; la academia alcanza el mayor puntaje de 3,5/5, debido a que son los que mayor nivel de despliegue han logrado para adoptar la innovación. Los ISP alcanzan un valor de 2,5/5 Telefónica y 2,25/5 ANTEL. Esto significa que han logrado alcanzar un nivel de innovación cercano al medio, pero aún les falta para poder llegar a un alto puntaje. Por otra parte, los actores de gobierno alcanzan un puntaje de 1,75/5. Esto representa que si bien se han tomado algunas iniciativas, como apoyo en el programa de IPv6 day y la puesta en funcionamiento de algunos portales de gobierno, no se han tomado acciones suficientes para acompañar un nivel alto



Figura 5.1: Tareas clave planteadas por el método del London Business School para medir la innovación.

de despliegue para generar innovación. En conclusión, ninguno de los actores evaluados están próximos a culminar el desarrollo de IPv6 como innovación.

5.2.2. Medición de las condiciones establecidas

En esta sección se asigna un puntaje a cada una de las condiciones establecidas planteadas por el método para cada una de las organizaciones seleccionadas. Condiciones establecidas planteadas por el método:

- Talentos humanos y financieros

Para lograr el desarrollo de la innovación es necesario contar con personal capacitado para poder realizar las nuevas configuraciones, planificar el despliegue, definir los cambios necesarios en la organización y brindar soporte. Si bien los actores seleccionados declaran que la mayoría de su equipo ha realizado numerosas capacitaciones en IPv6 porque existe mucho material publicado y accesible sobre IPv6, es importante evaluar si cada una de las organizaciones realmente han capacitado a todo el personal necesario o solamente al área técnica. De igual forma, se necesita disponer de recursos financieros para poder respaldar los gastos adicionales que la implementación de IPv6 puede necesitar. De acuerdo a lo declarado en las entrevistas reflejadas en el anexo 2 la mayoría de actores

han realizado capacitaciones para el personal técnico de su organización. ANTEL declara que a nivel de capacitación IPv6, venían anticipándose desde hace tiempo, desde el comienzo del IPv6 tour, y siempre continuó capacitando a su personal porque entendía que era la necesidad del futuro. Sin embargo, aún ANTEL no ofrece todos los servicios necesarios en IPv6, como por ejemplo BGP en su datacenter, por lo cual se entiende que estratégicamente los recursos humanos tomadores de decisiones no están al tanto de la importancia de habilitar BGP en IPv6 en un datacenter para poder ofrecer servicios en IPv6. En resumen, ANTEL tiene parte de su personal capacitado pero no todo el necesario. Telefónica declara que fue capacitando al personal desde que surgió la iniciativa de implementación del nuevo protocolo. La gente de operaciones de datos ha tomado varios cursos sobre IPv6. Sin embargo, no el resto de la organización. Los ISP tienen gran parte de su personal técnico capacitado, pero no el resto de su personal que también tiene contacto con atención al cliente, por eso se le asigna puntaje bajo. SeCIU indica que con el IPv6 tour hubo un gran interés por parte de gente de ANTEL, de la Facultad de Ingeniería y personas individuales, quienes juntos formaron el equipo de trabajo “IPv6 task force” de Uruguay. En ese marco había una gran motivación. SeCIU tiene la mayor parte de su personal capacitado, por lo cual se le asigna puntaje alto.

Como menciona la nota de LACNIC [50], LACNIC ha capacitado en el 2020 a 7642 estudiantes en temas relacionados con Internet, entre ellos IPv6. Además, de los cursos online pagos y gratuitos hay mucho material disponible y accesible para capacitarse en IPv6. Los entes de gobierno han capacitado aparte de su personal técnico que es una parte pequeña de su organización, por eso se le asigna un puntaje muy bajo.

- Uso de los sistemas y las herramientas adecuadas
Si bien en varios casos de los ISP y de la academia han hecho una implementación parcial de IPv6, la misma no fue total. Por lo cual no se le brindó la atención necesaria para poder llegar al cumplimiento de los sistemas y herramientas adecuadas. En las entrevistas reflejadas en el anexo 2 ANTEL declara que durante el 2016 y comienzos de 2017 se validaron los modelos de servicio fijos y móviles, se realizaron actualizaciones en

equipos de la red de acceso y se capacitó a los grupos de operación y soporte de reclamos. En el 2017 se comenzó la habilitación de IPv6 en servicios residenciales y para fines de 2018 se completó el trabajo. Sin embargo, indican que el cliente final no lo pide ni lo usa. Se observa una falla en la implementación, ya que el cliente final debería utilizarlo. De alguna forma los ISP no llegan a alcanzar este paso. En el área empresarial surgió un problema durante la implementación y por mas que se podría haber resuelto fácilmente, se decidió no habilitarlo por defecto, porque no se encontró una necesidad que lo justificara. Adicionalmente, la parte móvil hace tiempo está pronta para ofrecerse en IPv6, pero aún no se ha realizado porque no han recibido solicitudes de ello.

Telefónica declara que la red de transporte, bordes de Internet y tránsito está en IPv6. Se ofrece IPv6 a los clientes corporativos, a los que llegan por enlaces fijos. Es decir, Telefónica ofrece tránsito por IPv6 a quienes lo piden, pero no lo configura por defecto. Actualmente solamente dos clientes lo piden. En el caso de otros servicios, como por ejemplo, solicitud de delegar un DNS reverso, poner un servidor de correo en un servicio IPv6 y la posibilidad de realizar IPv6 only, no se ofrecen por defecto, pero si alguien lo pide se podría configurar sin problemas. Sin embargo, la realidad es que nadie lo pide. Por otra parte, para VoIP se utiliza IPv6, pero no se usa en APN masivos por clientes porque no hay una presión importante para hacerlo. Las redes celulares también están retrasadas con IPv6. En el momento de su implementación se encontró que había más de una opción de soporte, lo cual podría traer problemas. Se decidió que sería más una complicación con poco retorno. Lo otro que tienen pendiente de pasar a IPv6 son los data centers, el portal y la página principal de telefónica, no tienen IPv6, porque hasta el momento no surgió la necesidad. Lo que se ofrece todo en IPv6 es la parte de voz en LTE. Esto se debe a que cuando se fue a implementar como servicio nuevo, directamente se implementó en IPv6. Como política general siempre que Telefónica implementa algo nuevo tienen previsto hacerlo en IPv6, pero los servicios que están en línea son más difíciles de cambiar.

SeCIU brinda conectividad a Internet IPv6 a nivel de backbone para cada facultad. Sin embargo, hacia adentro de cada facultad depende de

cada uno implementarlo. Son muy pocos los que tienen habilitado IPv6. La mayoría de universidades no lo implementan porque no ven la necesidad y siempre hay otras prioridades. El SECIU hizo recomendaciones de implementación de IPv6 e incluso se ofrece soporte para quienes lo soliciten.

Por esta razón se le asigna a los ISP un puntaje medio, ya que si bien ofrecen parte de sus servicios en IPv6, no los ofrecen todos. A SeCIU se le asigna un puntaje alto, ya que tiene un grado de avance mayor. Por otra parte, las entidades de gobierno han migrado varios portales a IPv6 cuando fue el lanzamiento del día IPv6, pero varios de esos portales no se mantuvieron en IPv6, por esta razón se le asigna un puntaje bajo.

- Apoyo de la gerencia de la organización

En el caso de estudio sobre la implementación de IPv6, de acuerdo a las entrevistas reflejadas en el anexo 2, se observa que en el caso de los ISP y de la academia, la implementación de IPv6 en cada una de esas organizaciones provino de distintas áreas y no solamente del área de ingeniería. En particular, en más de uno de los casos ha tenido la iniciativa del área de ingeniería, pero no el apoyo de la gerencia debido a que tenían prioridades de otras tareas antes que la implementación de IPv6, por lo cual no era considerada una necesidad. ANTEL indica que lo que sucede muchas veces es que desde el área de tomadores de decisiones de una empresa, consideran que el riesgo que les implica realizar el cambio a IPv6 no justifica la cantidad de reclamos que puedan llegar a tener, y que además, aunque se haga, el cliente no lo usa ni lo pide. La directiva de Telefónica global ha enviado una recomendación de implementar IPv6, pero no como un requerimiento. Si bien se ha implementado y avanzado mucho en IPv6 desde Telefónica Uruguay, aún no se llega a cumplir con el 100 % de la recomendación. Hay mucho temor y desconocimiento por la gente de operaciones, ya que indican que es difícil asumir riesgos para los que no se obtendrá un beneficio a cambio, es decir, que los resultados no mejorarán la situación actual. Por estas razones se le asigna un puntaje bajo a los ISP. SeCIU declara que tampoco se han desarrollado servicios con IPv6 porque no se ha considerado prioritario. Se le asigna un puntaje bajo a SeCIU. En el caso de los entes de gobierno se observa que han realizado pocas acciones para apoyar el despliegue de IPv6 como ser: el

IPv6 day, migración de algunos portales de gobierno a IPv6. Sin embargo, no han establecido planes para motivar a los usuarios a usar IPv6 o a incentivar mediante normas el uso de IPv6 como se ha hecho en otros países, medidas que podrían colaborar con un mayor despliegue. Por esta razón se le asigna un puntaje muy bajo.

A continuación se expresan en la tabla 5.2 los resultados obtenidos.

Tabla 5.2: Condiciones establecidas por el método de la London Business School por cada actor seleccionado

Condiciones establecidas por el método	ANTEL	Telefónica	SeCIU	URSEC	AGESIC
Talentos humanos y financieros	2	2	4	1	1
Uso de los sistemas y las herramientas adecuadas	3	3	4	2	2
Apoyo de la gerencia de la organización	2	2	2	1	1
Promedio	2,33	2,33	3,33	1,33	1,33

Se ilustran los resultados obtenidos a través de un gráfico de radial para poder identificar los resultados obtenidos en la figura 5.2.

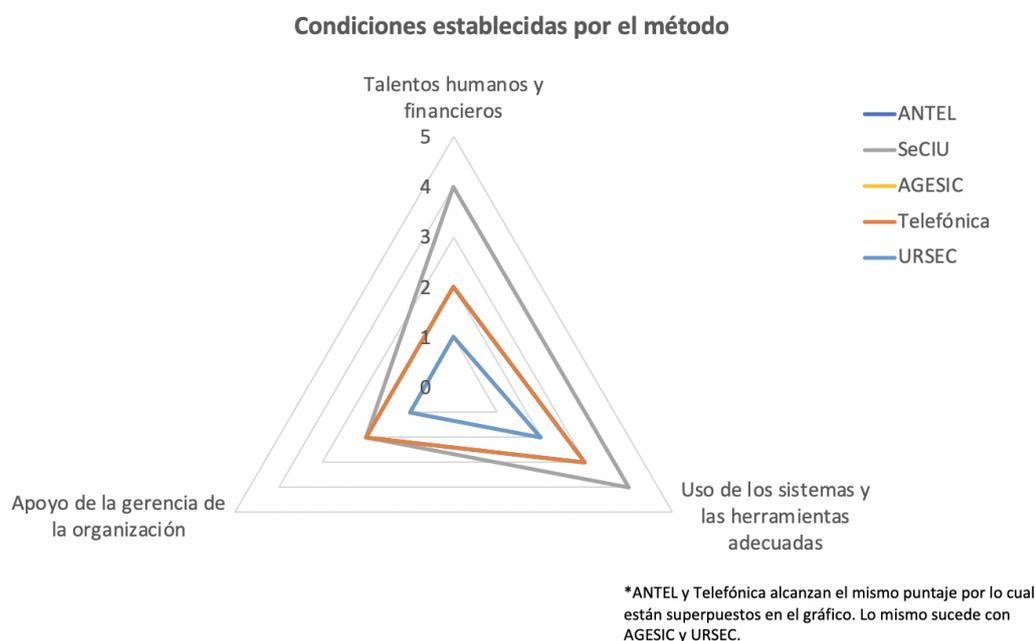


Figura 5.2: Condiciones establecidas por el método del London Business School para medir la innovación.

Las condiciones establecidas para el método que se relacionan con el contexto necesario para apoyar el impulso de la innovación, presentados en la tabla 5.2 alcanzan un puntaje mayor al medio para la academia (3,33/5) pero

no para ISP (2,33/5) ni para entes de gobierno (1,33). Si bien Uruguay ha tomado medidas para apoyar la innovación, algunos elementos del contexto uruguayo (como ser: apoyo de gerencia, personal capacitado) no están preparados para lograr la implementación completa de IPv6 como innovación. Una implementación completa significa que todas las partes que intervienen en la comunicación en Internet lo hagan a través de IPv6, actualmente sólo algunas partes lo están haciendo. Otra conclusión que se extrae de este resultado es que si bien la adquisición de tecnología está disponible, no se cuenta con el talento humano (puntuado en bajo) necesario para poder mejorar la innovación. Se ha capacitado al personal técnico y el material es accesible, pero aún falta capacitar al resto de los actores involucrados en proceso de implementación de IPv6 (tomadores de decisiones, personal de atención al cliente, entre otros), desde el ISP hasta el cliente final para lograr la implementación total.

5.3. Resumen de las mediciones de la implementación de IPv6 como innovación

En esta sección se define una escala para poder medir el grado de innovación con relación a la implementación de IPv6 de cada actor. Luego se aplica el modelo de la London Business School para asignar un puntaje a cada organización.

En la sección 4.6 se observa que Uruguay ha alcanzado algunos hitos en cuanto al despliegue de IPv6 que lo posicionan como un país con un alto despliegue de IPv6 en la región. Algunos de esos hitos son: lograr un 30,01 % de IPv6compatible (lo que denomina la herramienta desarrollada por APNIC), que se observa en la tabla 4.1, que representa la capacidad de los dispositivos de conectarse a IPv6. Adicionalmente, Uruguay alcanza un 35,71 % de visibilidad de prefijos IPv6 en la región de Latinoamérica y el Caribe, como se muestra en la tabla 4.2. Estos hitos hacen que Uruguay se perciba como un país que ha logrado un alto avance en el despliegue de IPv6. Por otra parte, en los resultados obtenidos basándose en el modelo de la London Business School se observa que el despliegue no está tan avanzado como se percibe y que incluso está lejos de culminar, ya que todavía falta alcanzar grados más altos de tareas clave y condiciones establecidas para poder hacerlo.

En las mediciones de esta sección se concluye que la academia es la que

mayor grado de avance tiene en cuanto a gestión de la implementación de IPv6 como innovación. Sin embargo, ni la academia ni ninguno de los actores estudiados están próximos a culminar el desarrollo de IPv6 como innovación. Si bien se han tomado algunas iniciativas, como apoyo en el programa de IPv6 day, la puesta en funcionamiento de algunos portales de gobierno, apoyo de gerencia, personal capacitado, Uruguay no está preparado para lograr la implementación completa de IPv6 como innovación. Otra conclusión que se extrae de este resultado es que si bien la adquisición de tecnología está disponible, no se cuenta con el talento humano (puntuado en bajo) necesario para poder mejorar la innovación. Se ha capacitado al personal técnico y el material es accesible, pero aún falta capacitar al resto de los actores involucrados en proceso de implementación de IPv6 (tomadores de decisiones, personal de atención al cliente, entre otros), desde el ISP hasta el cliente final para lograr la implementación total. En conclusión, aún no se han tomado acciones suficientes para alcanzar un alto avance en cuanto a tareas clave y condiciones establecidas para acompañar un nivel alto de despliegue para generar innovación.

Capítulo 6

Escenarios futuros, resultados y conclusiones

En el siguiente capítulo se retoman las hipótesis de la investigación para ver que resultados se obtuvieron. Basándose en ello, se dictan las conclusiones generales de la investigación, se realizan propuestas de innovación para el despliegue de IPv6, se identifican una serie de lecciones aprendidas y finalmente se describe el trabajo a futuro que se podría realizar.

6.1. Retomando las hipótesis de la investigación

Hipótesis 1 - Uno de los objetivos para el que fue diseñado IPv6 de necesidad inmediata prevalece: refutada

El fin con el que se creó IPv6 consistía en poder abastecer la necesidad inmediata de direcciones IP para el crecimiento exponencial de Internet. Sin embargo, como se menciona en el capítulo 4.2, ante la urgente demanda de direcciones IP, surgieron otras alternativas que brindaban más confianza a los ISP en ese momento antes de adentrarse en la implementación de IPv6. Esta implementación significaría invertir en recursos, equipos, capacitación y riesgos, frente a alternativas como NAT que ya existían y por ende, les daban más seguridad. Como se adelanta en el capítulo 4.4.1, la innovación, además del mantenimiento de la competitividad de la organización y su mejora, debe tener definido un propósito, fin o resultado esperado en sí misma. En este caso, si bien el fin original de IPv6 era lograr aumentar la cantidad de direcciones

disponibles, actualmente la escasez de IPv4 ha sido solventada con soluciones alternativas (como NAT, etc.) que han logrado evadir la necesidad de obtener IPv6 en forma inmediata. Por lo tanto, el fin de necesidad inmediata con el cual se creó IPv6 no prevalece del todo. Si bien son necesarias las direcciones IP, también es verdad que a la práctica los ISP se las han ingeniado para no necesitar de IPv6. Por esta razón se puede decir que de alguna manera la necesidad inmediata de direcciones IPv6 es obsoleta. Esto perjudica a que IPv6 como innovación tenga un fin que los ISP puedan valorar. La innovación necesita un fin y el fin para el que fue diseñado es obsoleto. Para concluir se induce que la hipótesis: uno de los objetivos para el que fue diseñado IPv6 de necesidad inmediata prevalece, es refutada.

Hipótesis 2 - La implementación de IPv6 es una innovación en Uruguay: confirmada

Como se desarrolla en el capítulo 3.2.1 la implementación de IPv6 no ha finalizado en Uruguay. Al menos, los ISP entrevistados en esta investigación coinciden en que todos han iniciado la implementación, pero que todavía quedan algunos pasos para llegar al final del camino. De acuerdo a la métrica seleccionada, al menos el 99% del tráfico de banda ancha en Uruguay es de ANTEL quien declara que la implementación de IPv6 todavía no está completa. En esta línea, en la sección 3.3 se observa que el actor de la academia y los ISP seleccionados en la muestra de esta investigación, han logrado alcanzar un nivel de innovación mayor al medio (dentro de la escala utilizada en esta investigación), pero aún les falta para poder llegar a un alto puntaje. Por otra parte, los actores de gobierno alcanzan un puntaje más bajo. Esto significa que si bien se han tomado algunas iniciativas, no se han tomado acciones suficientes para acompañar un nivel alto de despliegue para generar innovación.

Se ha visto que para el usuario final es imperceptible el protocolo por el cual se conecta a Internet, por lo cual, en algunos casos, los tomadores de decisiones no están dispuestos a invertir en una innovación que desde la perspectiva del usuario final, únicamente podrá traerle fallas en su conexión. Uno de los factores por los cuales IPv6 no logra culminar su implementación es que las mismas opciones que buscan ser alternativas para ayudar a hacer la transición más amigable (NAT, transferencias, etc.), son las que conspiran en contra para que los ISP tengan la necesidad de invertir en esta innovación. Si bien intentan ser elementos para ayudar a los ISP, terminan siendo obstáculos

para la implementación.

IPv6 fue creado hace varios años y su implementación global aún continúa estableciéndose. Sin embargo, basándose en lo planteado en el capítulo 4.4.1 podemos afirmar que IPv6 representó una innovación tanto en Uruguay como en el resto del mundo, en forma de cambio disruptivo para todos los ISP. Ha sido disruptivo debido a que su implementación trae como consecuencia varios cambios significativos en las redes, tanto de configuración como de equipamiento. En su momento la implementación de IPv6 se desarrolló como un producto nuevo, por lo tanto, una innovación.

Hipótesis 3 - Ante el agotamiento de IPv4, la implementación de IPv6 es de difícil acceso en Uruguay pero necesaria: refutada.

Para el análisis de esta hipótesis, es posible dividirla en dos premisas:

1. La implementación de IPv6 es de difícil acceso en Uruguay: refutada
2. La implementación de IPv6 es necesaria: refutada

Por un lado, como toda implementación de una nueva tecnología, la implementación de IPv6 implica un riesgo. No es un cambio simple, es necesario capacitar al personal técnico, invertir en nuevos equipos, entre otros. Sin embargo, de acuerdo a lo hablado en las entrevistas a los ISP (ver anexo 2), se indica que las empresas de tecnología tienen que hacer cambios de equipos en forma periódica, y en ese momento les es indiferente pedir que el equipo nuevo soporte IPv6. La capacitación de personal sí es necesaria, como se realiza con la implementación de cualquier tecnología nueva. Sin embargo, al ser un protocolo que lleva más de 30 años, existen varios cursos tanto online como presenciales e incluso gratuitos. Además, hay mucho material publicado en forma accesible y gratuita. También se han encontrado esfuerzos de varias organizaciones (LACNIC, ISOC, ICANN, entre otros) como de gobiernos (como ser: Colombia, Perú) para capacitar al personal técnico sobre IPv6, como se explica en el capítulo 2.5. IPv6 es una tecnología que ya tiene más de 30 años, los cuales significan varios años de: pruebas, de implementación, de buenas prácticas, de foros para hacer preguntas y de ejemplos en todo el mundo de implementación para tomar como referencias, que han hecho más robusta la implementación del protocolo. Por estas razones se puede demostrar que la implementación de IPv6 es accesible, tiene varios años de experiencia, buenas prácticas y ello le ha dado una robustez y accesibilidad para poder implemen-

tarlo. De acuerdo a lo mencionado, la hipótesis: la implementación de IPv6 es de difícil acceso en Uruguay, es refutada.

Basándose en lo investigado previamente, podemos entender que si bien la implementación de IPv6 es sin duda el mejor camino, debido a que con IPv6 los ISP contarían con una cantidad más que suficiente para configurar sus redes de una forma prolija y eficiente; no significa que la implementación de IPv6 sea la única y necesaria opción. Se ha observado en el capítulo 4.2 que existen otras alternativas, como ser: NAT, el mercado de transferencias y otras técnicas de transición. Es cierto que estas alternativas no son las mejores para la red, ya que traen otro tipo de problemas, y que la mejor alternativa es la transición a IPv6. Sin embargo, también es cierto que son una alternativa para continuar funcionando. En el capítulo 4.2 también se ha indicado que actualmente son varios los ISP que continúan utilizando NAT porque no están dispuestos a asumir el riesgo del cambio a IPv6. Por estas razones se puede afirmar que la implementación a IPv6 no es la única opción, lo que lo hace no ser únicamente necesario, por lo menos mientras que las alternativas sigan siendo una opción, mejor o peor. Otro aspecto importante es que el uso de la red ha cambiado. Como se menciona en la sección 1.1, el único interés del usuario actual de Internet es ver Netflix, acceder a sus redes sociales (Facebook, Instagram), navegar por Internet, y en última instancia revisar el correo electrónico. Incluso varios de los nativos digitales no tienen correo electrónico y se comunican a través de redes sociales. De acuerdo con [51], la aplicación más utilizada para febrero del 2020 fue TikTok con más de 104.7 millones de descargas. Luego le siguen WhatsApp y Facebook. Incluso, entre las diez aplicaciones más utilizadas no se encuentra ninguna aplicación de correo electrónico. Esto significa que la mayoría de los servicios que mayoritariamente se consumen se diseñaron de forma tal que no falten las direcciones (Netflix, Spotify, Amazon, entre otros) y que las direcciones IPv6 no sean una necesidad. De acuerdo a lo mencionado, la hipótesis: la implementación de IPv6 es necesaria, es refutada.

Hipótesis 4 - La razón por la que el despliegue de IPv6 está muy obstaculizado en Uruguay es porque no es fácil de implementar: refutada

Actualmente el despliegue de IPv6 en Uruguay está avanzado en cuanto a asignación de dirección IP desde el lado del ISP. Sin embargo, el despliegue no está completo. Algunos de los ISP que asignan direcciones IPv6 no ofrecen

servicios en IPv6. Por ejemplo, hoy en día no se puede tener un reverso de un dominio ni tampoco el correo está definido en IPv6. Para un despliegue completo es necesario también lograr ofrecer este tipo de servicios en IPv6. En la sección 5 se observa que hay poco apoyo en realizar acciones para el despliegue de IPv6 por parte de la gerencia de las organizaciones estudiadas. En particular, en más de uno de los casos de estudio se ha tenido la iniciativa del área de ingeniería pero no el apoyo de la gerencia debido a que tenían prioridades de otras tareas antes que la implementación de IPv6, por lo cual no era considerada una necesidad.

Si bien es cierto que el despliegue total de IPv6 ha tardado más de lo esperado (más de 30 años), no es la dificultad de implementación la principal razón, sino la falta de necesidad de hacerlo. Para la implementación de una nueva tecnología es necesario realizar varios cambios: de equipos, capacitación y asumir riesgos. Sin embargo, algunos ISP no han tenido la necesidad de hacer esta transición. Esto se debe al diseño intrínseco de IPv6. IPv6 fue diseñado de forma tal que la transición de IPv4 a IPv6 sea invisible para el usuario final. El hecho de ser tan imperceptible para el usuario final hizo que éste no tenga la necesidad de pedirlo ni de valorarlo. Por esta razón, el usuario final no ha hecho ningún esfuerzo por adoptar el nuevo protocolo. Como se menciona en el capítulo 4.4.1, se puede concluir que en este caso, la característica de transparencia en el propio diseño de IPv6 conspira contra su adopción. Esto se identifica como una falla en la innovación porque esta característica de su diseño no logró captar la motivación para la adopción de la innovación. El usuario necesita una necesidad o motivación para invertir en una innovación y asumir los riesgos que ella conlleva.

El perfil del usuario ha cambiado, en los comienzos de la creación Internet el usuario tenía un perfil técnico, académico. Las personas que utilizaban las direcciones IP eran las mismas que configuraban las redes y el resto del mundo aún no tenía acceso a Internet. Actualmente ese perfil a cambiado notablemente, el perfil del usuario que se conecta a Internet es muy variado. De acuerdo con los datos publicados por ITU [4] el 51 % de la población mundial tiene acceso a Internet. El perfil del usuario varía desde el académico, hasta un usuario que solamente quiere utilizar Internet para contestar su correo, ver Netflix, realizar una videollamada o bien utilizar un servicio sin tener la necesidad de conocer cómo funciona Internet, ni menos aún, si necesita una dirección IP. El usuario final de hoy sólo quiere que Internet funcione, no está interesado

en conocer la operación de Internet. Por esta razón no está dispuesto a invertir ni valorar en asumir riesgos para cambiar a IPv6.

En forma adicional, el caso de IPv6 como innovación, es transparente para el usuario, por lo cual el usuario no ve un cambio en la nueva tecnología, haciendo que pierda el valor de la novedad y haciéndola despreciable para el usuario final. Un ejemplo es el caso de IoT, en el que se suponía que sería necesario IPv6 para lograr una buena relación entre la cantidad de dispositivos conectados a Internet y direcciones IP. Sin embargo, actualmente se han encontrado diversas alternativas para su aplicación sin la necesidad de implementar IPv6. Dicho esto, para los usuarios es necesario tener una tecnología tangible que lo motive a invertir en el cambio. Mientras que no haya una necesidad clara o una tecnología tangible asociada a IPv6, posiblemente nunca sea realmente necesaria la implementación de IPv6.

De acuerdo con [35] la innovación normalmente implica un riesgo. Para que a un accionista le resulte atractivo invertir en una innovación, debe incluir un modelo de negocio que mejore la eficiencia. Las empresas deciden si invertir en innovar basándose en los conceptos de competitividad, de estrategia empresarial, y a la interacción dinámica entre los elementos críticos de esta estrategia. En el caso de IPv6 no es fácil demostrar la mejora en el modelo de negocios al implementar esta nueva tecnología. Por esta razón, varios ISP han hecho los cambios necesarios para la implementación, sin embargo, en numerosos casos la implementación de IPv6 no ha llegado al final del camino. Con relación a lo comentado previamente, los ISP no están dispuestos a asumir el riesgo de un cambio tan grande, significando la posibilidad de que ocurran fallas durante la transición que generen problemas en su red y eso refleje un mal servicio durante el cambio. Y, estos riesgos no serían valorados por el cliente final, quien desde su perspectiva puede verse afectado, pero no beneficiado con este cambio. Si no hay un valor en la innovación, un modelo de negocios que resulte eficiente, las organizaciones no estarán dispuestas a asumir los riesgos que ello conlleva. Estas son las principales razones por las que el despliegue de IPv6 está muy obstaculizado en Uruguay y no porque no es fácil de implementar como se mencionó previamente. Por lo cual la hipótesis planteada es refutada.

Hipótesis 5 - La razón principal por la cual los ISP no acceden a realizar la implementación de IPv6 son los costos: refutada.

De acuerdo con las entrevistas realizadas a algunos de los principales proveedo-

res en Uruguay (Telefónica, ANTEL), SeCIU, URSEC y AGESIC (ver anexo 2), se observa que el tema de los costos no ha sido una limitante para ninguno de los casos. De hecho, en todos los casos ni bien pudieron se atrevieron a implementar IPv6 para realizar pruebas en forma inmediata, para luego poder implementarlo en el resto de su red. El costo de los equipos es un costo que no se puede eludir, podrá ser antes o después, pero la vida útil de los equipos es inevitable y en un momento u otro se deben hacer compras de nuevos equipos. Ante esta situación, el costo por soportar IPv6 es despreciable. La capacitación, tampoco significa un costo alto, ya que como se mencionó previamente, existe mucho material accesible y gratuito y varias organizaciones que difunden información y cursos para capacitar a los técnicos de la región. Por lo tanto, esta hipótesis es refutada.

6.2. Propuestas de innovación para el despliegue de IPv6

Basándose en la investigación realizada, algunas de las medidas que se podrían tomar para promover la innovación en IPv6 son:

- Servicios en IPv6.
Es necesario lograr disponibilizar los mismos productos que las empresas ofrecen sobre IPv4, también en IPv6. Si no es posible tener configurado un DNS reverso IPv6, tampoco es viable tener un servidor de correos en IPv6, ni muchas otras cosas que para su buena configuración lo requieren. En la sección 5.1 se detalla como los ISP actuales no brindan todos los servicios necesarios en IPv6. La implementación de IPv6 podría haber causado el desarrollo de más productos y servicios que no lo ha hecho. Por esta razón para lograr la buena adopción de IPv6, es necesario que todos los servicios sean ofrecidos en este protocolo. En resumen, la propuesta es lograr que todos los ISP que asignan IPv6 también ofrezcan los servicios que ofrecen en IPv4, en IPv6.
- Formación de un grupo de trabajo.
Se propone formar un grupo de trabajo con la participación de todos los actores relevantes: varios ISP, organizaciones de gobierno (como URSEC, AGESIC), otras organizaciones interesadas en colaborar (como LACNIC,

ISOC). Se percibe que actualmente todos los actores han ejecutado acciones por separado. Sin embargo, no han logrado resultados del todo eficientes, ya que IPv6 no se termina de implementar. Por eso se identifica la necesidad de un trabajo en conjunto de todos los actores, formando un equipo con un objetivo en común. Este grupo de trabajo debería definir un plan de acción con hitos específicos de forma de planificar una implementación que llegue finalmente hasta el usuario final. En particular, se propone definir un objetivo concreto guiado por una serie de hitos a cumplir en un período específico de años. Un ejemplo, podría ser tomar como escenario de análisis la red de ASSE, de forma que el gobierno decreta pasar RED-UY a IPv6 para el año 2026. Sin embargo, al realizar un análisis desde el punto de vista del negocio y rentabilidad, se puede predecir que será necesario gastar más dinero, mientras que el uruguayo va a recibir los mismos servicios. No hay un retorno de la inversión ni a nivel económico ni de calidad para el usuario. Ese es el mayor desafío, como innovación es necesario convencer al usuario final de utilizar IPv6 como mejora a largo plazo para la red. De todas formas, para lograr cumplir con la implementación completa es necesario lograr que todos los actores colaboren en un proyecto en común, ese es el argumento principal para la creación de este grupo de trabajo con un fin común para lograr la meta.

- Convencer al usuario final.

La telefonía promueve el LTE, 5G, (High-Speed Packet Access) (HSPA) y logra que le llegue a la gente e incluso que la gente lo pida. Por esa razón, más allá de ser una nueva tecnología de difícil entendimiento para el usuario final, es necesario convencer al usuario final para que lo pida. Se podrían ofrecer planes en los que los servicios en IPv6 sean más rápidos, hasta incluso podrían ser más baratos sobre IPv6 para que el usuario final los exija.

Desde sus comienzos la difusión y capacitación de IPv6 estuvo orientada a los ISP y al público más técnico. Sin embargo, lo que falta para lograr la implementación completa es la valoración del usuario final, que el usuario final entienda la necesidad de más direcciones IP, y que valore el esfuerzo de su proveedor por adaptarse a la nueva tecnología, entendiendo posibles fallas en los servicios que podría ocasionar la transición. Para eso se propone utilizar una de las metodologías de innovación: design thinking,

como se explica en la sección 4.4.3. Metodología basada en la idea de que para innovar en forma exitosa, es necesario desarrollar la capacidad de empatía y así lograr identificar las necesidades del usuario. Es necesario empatizar con el usuario final para entender sus necesidades de forma de hacer que valore e incluso pida IPv6 para que todos los actores estén involucrados y alineados en un mismo fin: la transición completa a IPv6.

- Capacitación a todo el personal de los ISP.

Una de las conclusiones obtenidas en la sección 5 es que si bien la adquisición de tecnología está disponible, no se cuenta con el talento humano suficiente para poder mejorar la innovación. Si bien se ha capacitado al personal técnico, aún falta capacitar a otros actores del proceso. Por ejemplo al personal de atención al cliente, que son los que están en contacto directo con el cliente final. Es necesario realizar programas de capacitación para todas las personas que colaboran en un ISP. Desde los técnicos que configuran la red hasta las personas de atención al cliente, para que puedan atender a las consultas de IPv6 que surjan. Así, poder ayudarlos a configurar los servicios en IPv6 y explicarle al usuario final por qué es importante la transición a IPv6 y lograr que el usuario final también lo pida. Si bien es verdad que ya se han realizado varias capacitaciones, es importante mantener el esfuerzo, para poder sumar día a día a más personas y a más ISP al conocimiento y uso de IPv6.

- Iniciativas de colaboración de diversos actores influyentes.

La colaboración de organizaciones tanto del sector público, privado como civil ha ayudado notablemente a contribuir con la adopción de IPv6 y se espera poder seguir contando con esta colaboración. De acuerdo con lo publicado por el Number Resource Organization (NRO) [52] se observa que varias organizaciones de importante influencia han comenzado a realizar acciones para generar un impacto en la implementación global de IPv6. Algunas de estas son:

- Comcast y Verizon (EEUU) han comenzado pruebas con sus clientes sobre IPv6.
- AT&T (EEUU) ofrece nuevos servicios y productos para cumplir con el mandato del gobierno de implementar IPv6.

- Softbank Yahoo! Broadband (Japón) han decidido una estrategia para la transición y están implementando IPv6.
- RCP (Peru) soporta IPv6 para todos sus clientes corporativos y están planeando ofrecerlo también en sus servicios residenciales.
- Apple IOS 4 soporta IPv6. Los usuarios de iPhone pueden acceder a Internet a través de IPv6.
- Los ISP de África tienen servicios IPv6 nativos que ofrecen a sus clientes incluyendo: LinkdotNet, TEdata(Egipto), Safaricom (Kenya), Simbanet (Tanzania), Internet Solutions and Tenet (Sudáfrica) y Sonatel (Senegal).
- Los proveedores de contenido más grandes como Google (incluyendo YouTube), Yahoo y Netflix proveen infraestructura para que sus usuarios puedan acceder a contenido directamente en IPv6.

Gracias a la colaboración y al esfuerzo de todos los actores la implementación de IPv6 se impulsa a mayor medida con mayor efecto.

■ Acciones de promoción desde el gobierno.

De acuerdo con lo que publica el NRO [52] se pueden observar ejemplos de éxito en otros países en los que el gobierno ha apoyado el despliegue de IPv6. En primer lugar, desde el gobierno es importante promocionar IPv6 siendo el ejemplo en uso, ofreciendo portales gubernamentales en IPv6 y solicitando que los servicios que se ofrecen soporten IPv6 (enlaces a Internet, aplicaciones, hosting). Si bien de acuerdo a las entrevistas mencionadas en el anexo 2 los entes de gobierno URSEC y AGESIC indican que varios portales del gobierno ya están en IPv6, también recomiendan que todos deberían estarlo. También informan que varios portales se configuraron en IPv6 para el lanzamiento del IPv6 day y que luego se dejaron de mantener. Adicionalmente, se observa en 5 que los entes de gobierno todavía deben impulsar varias acciones para avanzar con la implementación de IPv6. Es importante lograr un esfuerzo continuo para dejar todos los portales de gobierno en IPv6 y que todos los servicios también lo estén. Por lo cual aún faltan esfuerzos y un seguimiento para poder lograr la transición completa a IPv6. Finalmente, desde el gobierno también podrían articular esfuerzos entre ISP, Proveedores de contenido, Universidades y usuarios para lograr el despliegue completo sin obstáculos.

los de IPv6. Un esfuerzo en conjunto será mejor que varios esfuerzos por separado.

6.3. Conclusiones generales

Aportes sobre la metodología

En la sección 2.4 se realiza una investigación sobre las características que proponía el protocolo IPv6 en sus orígenes y se contrasta con las características que el protocolo presenta actualmente. Se observa que varias de esas características actualmente no se aplican. Por lo cual, esas características que en su momento aportaban valor quedan obsoletas, dejando como valor fundamental de la implementación de IPv6, la posibilidad de obtener más direcciones IP. Luego, en la sección 3.2 se define una métrica para seleccionar una muestra de organizaciones referentes de Internet en Uruguay. De esa métrica se seleccionan las organizaciones: SeCIU, ANTEL, Telefónica, URSEC y AGESIC, para poder relevar el estado de implementación de IPv6 en Uruguay. Además, se definió una métrica para poder evaluar el grado de implementación de IPv6 como innovación para cada uno de los actores seleccionados para esta investigación 3.3. Basándose en el modelo de la London Business School, se concluye que la academia es la que mayor grado de avance tiene en cuanto a gestión de la implementación de IPv6 como innovación. Sin embargo, ni la academia ni ninguno de los actores estudiados están próximos a culminar el desarrollo de IPv6 como innovación. Si bien se han tomado algunas iniciativas, como apoyo en el programa de IPv6 day, la puesta en funcionamiento de algunos portales de gobierno, apoyo de gerencia, personal capacitado, Uruguay no está preparado para lograr la implementación completa de IPv6 como innovación.

A continuación se investiga si el contexto de Uruguay colabora para la implementación de IPv6 consultando a entes de gobierno (URSEC y AGESIC). Además se consulta si existen planes del gobierno para apoyar la implementación de IPv6. Finalmente, se proponen algunas iniciativas de innovación para el despliegue de IPv6.

Aportes sobre la investigación

- Conclusión 1: La implementación de IPv6 es una innovación.

En la sección 6.1 hipótesis dos, se observa que IPv6 fue creado hace varios años y su implementación global aún continúa estableciéndose. Sin embargo, basándose en lo planteado en el capítulo 4.4.1 se afirma que la implementación de IPv6 representó una innovación tanto en Uruguay como en el resto del mundo, en forma de cambio disruptivo para todos los ISP. Ha sido disruptivo debido a que su implementación trae como consecuencia varios cambios significativos en las redes, tanto de configuración como de equipamiento. En su momento la implementación de IPv6 se desarrolló como un producto nuevo, una innovación.

Adicionalmente, en la sección 3 se define una métrica para poder evaluar la implementación de IPv6 como innovación basándose en la evaluación de varios puntos que propone el modelo de la London Business School. En la sección 5 se observa que la implementación de IPv6 tiene un mayor o menor grado de avance como innovación de acuerdo a cada actor seleccionado. El actor de la academia (SeCIU) obtuvo un mayor puntaje en las tareas clave planteadas por el método (3,5/5), le siguen los ISP, Telefónica y ANTEL, que obtuvieron un puntaje de 2,5/5 y 2,25/5 respectivamente y finalmente los entes de gobierno (AGESIC y URSEC) obtuvieron 1,75/5. Sin embargo, todos han sido puntajes bajos para el desarrollo de innovación. Si bien Uruguay ha tomado medidas para apoyar la innovación, algunos elementos del contexto uruguayo (como ser: apoyo de gerencia, personal capacitado) no han logrado la implementación completa de IPv6 como innovación. Por lo tanto, se concluye que la implementación de IPv6 es una innovación y funciona correctamente, pero las organizaciones estudiadas no han logrado implementarlo en sus procesos ni en sus conceptos como innovación.

- Conclusión 2: La implementación de IPv6 no ha seguido una metodología de innovación para alcanzar su despliegue completo.

En la conclusión 1, se observa que la implementación de IPv6 es una innovación. Sin embargo, las organizaciones no establecieron una metodología para poder implementarla en forma completa. Para la muestra tomada de las organizaciones estudiadas en esta investigación, la implementación de IPv6 no ha seguido una metodología de innovación, de forma tal que la innovación logre atraer y ser adoptada por los usuarios finales, quienes se conectan a Internet a través de un dispositivo (por ejemplo, su celular),

como se puede observar en detalle en la sección 4.4.3. En el desarrollo de esta investigación se observa que se realizaron varias acciones para incentivar al despliegue. Sin embargo, la mayoría han sido diseñadas de forma de presionar a los ISP de utilizar IPv6. Sin embargo, no hubo una metodología orientada a la innovación, pensada como tal, enfocada en solucionar un problema del usuario final. Simplemente, en la mayoría de los casos, el usuario final no llega a detectar la necesidad de pasar a IPv6, porque incluso cuando tiene la necesidad de más direcciones IP, acude a otras alternativas (por ejemplo NAT). Es así como uno de los principales errores en el lento despliegue de IPv6 es que debería haberse pensado para llegar también a la persona que se conecta a Internet a través de un dispositivo. Es necesario lograr que ese tipo de persona pida IPv6 a través de una metodología de innovación. Por ejemplo, a través de determinada tecnología que lo requiera, o servicios que funcionen solo o mejor con IPv6, entre otros. Como menciona la metodología de innovación Design Thinking, al lograr empatizar y comprender al usuario, se podrá lograr que él mismo quiera adoptar la innovación.

- Conclusión 3: El contexto de innovación en Uruguay no favorece la implementación de IPv6.

En la sección 2.1.3 se estudia el estado de innovación en Uruguay. A nivel mundial se observa un crecimiento de la innovación. Sin embargo, como lo indica el Reporte de Innovación Global, ese crecimiento se concentra en determinadas regiones y Uruguay no es específicamente la más floreciente. El mercado de Uruguay presenta algunas condiciones que no favorecen el desarrollo de la innovación, como ser: escasa inversión en innovación, pocos recursos disponibles (humanos y financieros) y la necesidad de atender otras necesidades prioritarias. Sumado a esto en la sección 5 se observa que en las organizaciones estudiadas hay una falta de apoyo de la gerencia para poder implementar nuevas tecnologías, en este caso IPv6 que no estén acompañadas de una mejora redituable para la organización. Estos puntos son los que conspiran para que el contexto en Uruguay no favorezca la implementación de IPv6.

- Conclusión 4: El grado de implementación de IPv6 en Uruguay es bajo. En la sección 4.6 se observa que Uruguay ha alcanzado algunos hitos

en cuanto al despliegue de IPv6 que lo posicionan como un país con un alto despliegue de IPv6 en la región. Algunos de esos hitos son: lograr un 30,01 % de IPv6compatible (lo que denomina la herramienta desarrollada por APNIC), que se observa en la tabla 4.1, que representa la capacidad de los dispositivos de conectarse a IPv6. Adicionalmente, Uruguay alcanza un 35,71 % de visibilidad de prefijos IPv6 en la región de Latinoamérica y el Caribe, como se muestra en la tabla 4.2. Estos hitos hacen que Uruguay se perciba como un país que ha logrado un alto avance en el despliegue de IPv6. Por otra parte, en los resultados obtenidos basándose en el modelo de la London Business School 5 se observa que el despliegue no está tan avanzado como se percibe y que incluso está lejos de culminar, ya que todavía falta alcanzar grados más altos de tareas clave y condiciones establecidas para poder hacerlo. En las mediciones de esta sección se concluye que la academia es la que mayor grado de avance tiene en cuanto a gestión de la implementación de IPv6 como innovación. Sin embargo, ni la academia ni ninguno de los actores estudiados están próximos a culminar el desarrollo de IPv6 como innovación. Si bien se han tomado algunas iniciativas, como apoyo en el programa de IPv6 day, la puesta en funcionamiento de algunos portales de gobierno, apoyo de la gerencia de las organizaciones, contar con personal capacitado; las organizaciones en Uruguay no cuentan con el grado de avance de competencias organizativas necesarias para lograr la implementación completa de IPv6 como innovación. Otra conclusión que se extrae de este resultado es que si bien la adquisición de tecnología está disponible, no se cuenta con el talento humano (puntuado en bajo) necesario para poder mejorar la innovación. Se ha capacitado al personal técnico y el material es accesible, pero aún falta capacitar al resto de los actores involucrados en proceso de implementación de IPv6 (tomadores de decisiones, personal de atención al cliente, entre otros), desde el ISP hasta el cliente final para lograr la implementación total. En conclusión, aún no se han tomado acciones suficientes para alcanzar un alto avance en cuanto a tareas clave y condiciones establecidas para acompañar un nivel alto de despliegue para generar innovación.

- Conclusión 5: El perfil del usuario que utiliza Internet ha cambiado. El perfil del usuario que se conectaba a Internet en sus orígenes era un

perfil académico, ya que eran los únicos que accedían a esta tecnología, como se detalla en la sección 6.1 hipótesis 3. Actualmente ese perfil ha cambiado notablemente, el perfil del usuario que se conecta a Internet es muy variado. De acuerdo con los datos publicados por ITU [4] el 51 % por ciento de la población mundial tiene acceso a Internet. El perfil del usuario varía desde el académico, hasta un usuario que solamente quiere utilizar Internet para contestar su correo, ver Netflix, realizar una video-llamada o bien utilizar un servicio sin tener la necesidad de conocer cómo funciona Internet, ni menos aún, si necesita una dirección IP. El usuario final de hoy sólo quiere que Internet funcione, no está interesado en conocer su operación. Por esta razón no está dispuesto a invertir ni valorar en asumir riesgos para cambiar a IPv6. Para los usuarios es necesario tener una tecnología tangible que lo motive a invertir en el cambio. Mientras que no haya una necesidad clara o una tecnología tangible asociada a IPv6, posiblemente la implementación de IPv6 siga tardando cada vez más.

- **Conclusión 6:** La implementación de IPv6 es accesible.
En la sección 6.1 hipótesis tres, se explica que IPv6 es una tecnología que ya tiene más de 30 años, los cuales significan varios años de: pruebas, de implementación, de buenas prácticas, de foros para hacer preguntas y de ejemplos en todo el mundo de implementación para tomar como referencias. Todas estas acciones han hecho más robusta la implementación del protocolo. Por estas razones se puede demostrar que la implementación de IPv6 es accesible, tiene varios años de experiencia, buenas prácticas y ello le ha dado robustez y accesibilidad para poder implementarla. De acuerdo a lo mencionado, la implementación de IPv6 accesible.

- **Conclusión 7:** Las alternativas que buscan ayudar la implementación de IPv6 conspiran en su contra.
Uno de los factores por los cuales IPv6 no logra culminar su implementación es que las mismas opciones que buscan ser alternativas para ayudar a hacer la transición mas amigable (NAT, transferencias, etc.), son las que conspiran en contra para que los ISP tengan la necesidad de invertir en esta innovación. Como se explica en la sección 2.6, desde la perspectiva de los ISP la implementación de IPv6 tiene asociados nuevos

desafíos: costos, complejidad, modificación de los productos existentes, cambios operativos, dificultad en aceptar cambios que impliquen riesgos para la operativa de las organizaciones, establecer un plan eficiente para la transición, convencer al usuario final, entre otros. Para los ISP todos estos riesgos no justifican cambiar a IPv6, debido a que pueden seguir funcionando accediendo a las otras alternativas disponibles (como NAT por ejemplo). La posibilidad del acceso a otras alternativas es uno de los obstáculos para la implementación de IPv6. Si bien intentan ser elementos para ayudar a los ISP, terminan siendo obstáculos para culminar la implementación.

- Conclusión 8: La característica de transparencia en el propio diseño de IPv6 conspira contra su adopción.

IPv6 fue diseñado de forma tal que la transición de IPv4 a IPv6 sea invisible para el usuario final. El hecho de ser tan imperceptible para el usuario final hizo que no tenga la necesidad de pedirlo ni de valorarlo. Por esta razón, el usuario final no ha hecho ningún esfuerzo por adoptar el nuevo protocolo. Como se menciona en el capítulo 4.4.1, se puede concluir que en este caso, la característica de transparencia en el propio diseño de IPv6 conspira contra su adopción. Esto se identifica como una falla en la innovación porque esta característica de su diseño no logró captar la motivación para la adopción de la innovación.

6.4. Lecciones aprendidas

Tanto el diseño como el trabajo de campo, el análisis y la documentación de la investigación fueron muy ricas en aprendizajes. A continuación se presentan algunos de los principales.

- Al comenzar la investigación se realizó una planificación. Sin embargo, el plan de trabajo ha ido cambiando. A medida que avanzó la investigación fueron surgiendo nuevas interrogantes para responder por fuera del esquema inicial. Por esta razón es importante ser flexible para poder ajustar la investigación a las necesidades que ella misma va planteando.

- Se percibe que la mayoría de los actores involucrados en el despliegue de IPv6 tienen una muy buena disponibilidad para avanzar. Efectivamente, cada uno ha avanzado en la implementación de IPv6 en sus redes. Sin embargo, se detecta que para lograr un despliegue completo es necesario trabajar en conjunto con todos los actores e involucrarlos en un proyecto de despliegue de IPv6 en común, con un plan definido con tiempos y metas específicas para poder cumplirlo.
- De acuerdo a lo investigado, se observa que se pensó mucho en el diseño pero no se pensó en la implementación del protocolo. Muchas veces los académicos se centran en la parte teórica, que sin duda es de suma importancia, pero para que sea del todo efectiva también debería pensarse en la implementación para poder llevarlo a la práctica.
- Inicialmente, basándose en lo leído en el estado del arte de IPv6 se podría creer que la limitante del despliegue de IPv6 eran los costos y la capacitación. Sin embargo, al realizar las entrevistas e indagar más a fondo, se detectó que no era así. Uno de los principales errores en el lento despliegue de IPv6 es que debería haber estado pensado también hacia el usuario final, lograr que la persona que se conecta a Internet desde su dispositivo pida IPv6. Por ejemplo, a través de determinada tecnología que lo requiera, o servicios que funcionen solo o mejor con IPv6, entre otros. Es importante que el usuario final entienda el valor de la innovación, que entienda por qué es importante implementarlo, se convenza de ello para transmitirlo a los tomadores de decisiones, quienes finalmente hacen la diferencia en el despliegue. Como menciona Design Thinking, al lograr empatizar y comprender al usuario, se podrá lograr que él mismo quiera adoptar la innovación.

6.5. Trabajo a futuro

Las posibles líneas de trabajo de futuro para una continuación del presente estudio se van desprendiendo de los resultados, conclusiones, lecciones aprendidas y limitaciones del presente estudio. En resumen se plantea:

- Profundizar en cómo ayudar a los ISP a culminar la implementación de

IPv6. En la sección 5 se observa que los ISP no han alcanzado el despliegue completo. Si bien tienen un grado de avance considerable, aún les falta para completarlo. Uno de los puntos clave es la falta de apoyo de la gerencia para poder contar con los recursos necesarios y dar seguimiento a este tipo de proyectos. Para eso se propone definir planes de seguimiento concretos con hitos alcanzables a corto plazo, para poder lograr la implementación completa. Además, es importante ayudar a los ISP a pensar en cómo convertir a IPv6 en oportunidad de negocio, en hacer una estrategia para hacerlo rentable. Una opción podría ser definir un servicio v6only, que se pueda comercializar como tal y vender como diferencial. De todas formas habría que investigar si eso podría ser viable como servicio más barato.

- Tomar como caso de estudio qué acciones exitosas se han ejecutado en otros países para apoyar la implementación de IPv6. Investigar si ese tipo de acciones podrían ser efectivas en Uruguay y consultar con entes de gobierno la posibilidad de realizarlas. En la sección 5 se mide el nivel de innovación que alcanzan los ISP, actor de la academia y de gobierno seleccionados, observando que ninguno alcanza un grado de implementación de IPv6 completo y que todos tienen tareas clave para completarlo. Para eso la referencia de otros países puede ayudar con la ejecución. Un ejemplo podría ser el que se muestra en la sección 2.5.2. La iniciativa del MinTIC de Colombia fue elaborar una documentación útil para contextualizar y ampliar los conocimientos sobre el protocolo IPv6.
- Investigar casos de éxito de distintos ISP sobre su implementación de IPv6 para poder compartirlos con los principales actores de Internet en Uruguay y validar con ellos su implementación en Uruguay.
- Fortalecer argumentos para convencer al usuario final a través de la valoración de IPv6. Para eso se propone contrastar las desventajas que presentan las alternativas a IPv6 (NAT, transferencias, entre otros) con las ventajas de la implementación a IPv6, para promover el mejor funcionamiento de la red con IPv6.

Referencias bibliográficas

- [1] Google. Google Statistics;. Accessed: 2020-01-16. Available from: <https://www.aelius.com/njh/google-ipv6/>.
- [2] Coffeen T. IPv6 STATISTICS;. Accessed: 10-07-2019. Available from: <http://slides.lacnic.net/wp-content/themes/slides/docs/lacnic25/miercoles/DHCPv6%20LACNIC.pdf?dl=0>.
- [3] Gont F. Consideraciones de Seguridad en IPv6;. Accessed: 10-07-2019. Available from: <http://slides.lacnic.net/wp-content/uploads/2017/06/fgont-lacnic-webinar2017-tendencias-seguridad-ipv6.pdf>.
- [4] ITU. Statistics;. Accessed: 20-12-2020. Available from: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>.
- [5] LACNIC. Fases de agotamiento de IPv4;. Accessed: 12-07-2019. Available from: <https://www.lacnic.net/web/lacnic/agotamiento-ipv4#tabs-4>.
- [6] Schumpeter J. Teoría del desenvolvimiento Económico. Austria; 1911.
- [7] Drucker P. Toward the new organization. Boston, EEUU: Harvard Business School Press; 1997.
- [8] Española RA. Real Academia Española;. Accessed: 26-12-2019. Available from: <https://dle.rae.es/innovacion>.
- [9] OCDE-Eurostat. Statistics;. Accessed: 20-12-2019. Available from: <http://www.itq.edu.mx/convocatorias/manualdeoslo.pdf>.
- [10] Morris L. Permanent Innovation; 2006.

- [11] AGESIC. La Innovación Pública y sus tipos;. Accessed: 19-05-2021. Available from: <https://www.gub.uy/agencia-gobierno-electronico-sociedad-informacion-conocimiento/comunicacion/publicaciones/innovacion-publica-sus-tipos>.
- [12] Cornell, INSEAD, OMPI. ÍNDICE MUNDIAL DE INNOVACIÓN 2019; 2019.
- [13] UniversidaddeCornellandINSEADandOMPI. Uruguay: Índice de innovación;. Accessed: 26-12-2019. Available from: https://es.theglobaleconomy.com/Uruguay/GII_Index/.
- [14] Tidd J, Bessant J. Strategic Innovation Management. Wiley;.
- [15] PRISMA. Portal de datos de ciencia, tecnología e innovación en Uruguay;. Accessed: 27-12-2019. Available from: <https://prisma.org.uy/eportal/web/anii-prisma/inicio>.
- [16] ABCredes. El 51% de la población mundial ya cuenta con acceso a Internet;. Accessed: 27-12-2019. Available from: https://www.abc.es/tecnologia/redes/abci-51-por-ciento-poblacion-mundial-cuenta-acceso-internet-201906181500_noticia.html.
- [17] Ferreira JB, Torres EP. Modelos explicativos del proceso de innovación tecnológica en las organizaciones. Buenos Aires: Universidad del Zulia, Venezuela; 2017.
- [18] Cicileo G, Gagliano R, O Flaherti C, Olvera C, Palet J, Rocha M, et al.. IPv6 para todos;. Accessed: 10-07-2019. Available from: <http://www.ipv6tf.org/pdf/ipv6paratodos.pdf>.
- [19] Lujan E. SEGURIDAD EN IP CON EL PROTOCOLO IPSEC PARA IPv6;. Accessed: 11-07-2019. Available from: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0261_CS.pdf.
- [20] ORACLE. Guía de administración del sistema: servicios IP;. Accessed: 11-07-2019. Available from: https://docs.oracle.com/cd/E24842_01/html/820-2981/chapter1-42.html.

- [21] LACNIC. Manual de Políticas de LACNIC;. Accessed: 13-07-2019. Available from: <https://www.lacnic.net/543/1/lacnic/>.
- [22] Grundemann C. IPv6 Security Myth 2 – IPv6 Has Security Designed In;. Accessed: 25-11-2020. Available from: <https://www.internetsociety.org/blog/2015/01/ipv6-security-myth-2-ipv6-has-security-designed-in/>.
- [23] ISOC. Informe de la política pública: Adopción de IPv6;. Accessed: 13-07-2019. Available from: <https://www.internetsociety.org/es/policybriefs/ipv6>.
- [24] MinisteriodeTecnologíasdelainformaciónylascomunicaciones. Guía para el aseguramiento del protocolo IPv6;. Accessed: 19-05-2021. Available from: https://www.mintic.gov.co/portal/715/articles-162301_guia_aseguramiento_ipv6.pdf.
- [25] MinisteriodeTecnologíasdelainformaciónylascomunicaciones. Guía de Transición de IPv4 a IPv6 para Colombia;. Accessed: 19-05-2021. Available from: https://www.mintic.gov.co/portal/715/articles-162301_guia_transicion_ipv4_ipv6.pdf.
- [26] NCC R. Public Sector Statements on IPv6;. Accessed: 27-07-2019. Available from: <https://www.ripe.net/publications/ipv6-info-centre/about-ipv6/governments/public-sector-statements>.
- [27] LACNIC. Manual de Políticas de LACNIC (v2.12 - 20/06/2019);. Accessed: 7-1-2020. Available from: <https://www.lacnic.net/innovaportal/file/543/1/manual-politicas-sp-2-12.pdf>.
- [28] URSEC. INFORME de MERCADO de TELECOMUNICACIONES de URUGUAY;. Accessed: 12-02-2021. Available from: <https://www.gub.uy/unidad-reguladora-servicios-comunicaciones/sites/unidad-reguladora-servicios-comunicaciones/files/2020-12/Informe%20Telecom%20junio%202020.pdf>.
- [29] UruguayPresidencia. Sitios Oficiales del Gobierno. Oficinas de la Presidencia de la República;. Accessed: 17-02-2021. Available from: <https://www.presidencia.gub.uy/gobierno-nacional/sitios-oficiales-del-gobierno>.

- [30] Pere PEC, Pasaola JV. Tecnología e innovación en la empresa. México: Universidad del Zulia, Venezuela; 2005.
- [31] InternetSociety. Wolrd IPv6 Launch;.
- [32] Baker F. IPv6 history;. Accessed: 19-6-2020. Available from: https://www.lacnic.net/innovaportal/file/4633/1/ipv6-history_fred-baker.pdf.
- [33] IPv4marketgroup. IP Adress Pricing;. Accessed: 24-6-2020. Available from: <http://ipv4marketgroup.com/ipv4-pricing/>.
- [34] Acosta A. Seguridad en IPv6;. Accessed: 24-6-2020. Available from: <https://www.lacnic.net/innovaportal/file/4633/1/v2ipv6-seguridad-2020.pdf>.
- [35] Blasina G, López V, Almansa M, De Giuda M, Cristobal A S Sorondo, Miles J. Modelo Uruguayo de Gestión de Innovación;. Accessed: 26-10-2020. Available from: https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2247.
- [36] Europea C. La innovación requiere un nuevo protocolo Internet;. Accessed: 04-09-2020. Available from: <https://cordis.europa.eu/article/id/18034-innovation-needs-new-internet-protocol-commission-claims/es>.
- [37] Ries E. Design thinking: como guiar a estudiantes, emprendedores y empresarios en su aplicación; 2011.
- [38] Castillo-Vergara M, Alvarez-Marin A, Cabana-Villca R. Design thinking: como guiar a estudiantes, emprendedores y empresarios en su aplicación; 2014.
- [39] Alonso JC. IPv6 para tomadores de decisiones;. Accessed: 18-6-2020. Available from: <https://www.lacnic.net/innovaportal/file/2907/1/ipv6para-tomadores-decisiones-jc-alonso.pdf>.
- [40] Cicileo G. IPv6 para tomadores de decisiones;. Accessed: 19-6-2020. Available from: https://www.youtube.com/watch?v=ckjw6_b7CXA&feature=youtu.be.

- [41] Shaw K. ¿Qué es IPv6 y por qué la adopción es tan lenta?;. Accessed: 20-07-2020. Available from: <https://www.networkworld.es/networking/que-es-ipv6-y-por-que-la-adopcion-es-tan-lenta>.
- [42] Google. Google IPv6 statistics IPv6;. Accessed: 7-1-2020. Available from: <https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>.
- [43] Akamai. IPv6 Adoption By Country;. Accessed: 7-1-2020. Available from: <https://www.akamai.com/uk/en/resources/our-thinking/state-of-the-internet-report/state-of-the-internet-ipv6-adoption-visualization.jsp>.
- [44] Martínez C. Estadísticas de adopción de IPv6;. Accessed: 7-1-2020. Available from: <https://www.lacnic.net/innovaportal/file/3753/1/estadisticas-ipv6-todas-diferentes-v3.pptx.pdf>.
- [45] Huston G. APNIC Labs IPv6 Measurement System;. Accessed: 7-1-2020. Available from: <https://labs.apnic.net/?p=348>.
- [46] Doan TV. Netflix over IPv6: a longitudinal study;. Accessed: 27-8-2020. Available from: <https://blog.apnic.net/2020/08/26/netflix-over-ipv6-a-longitudinal-study/>.
- [47] LACNIC. Fases de Agotamiento de IPv4;. Accessed: 7-1-2020. Available from: <https://www.lacnic.net/1001/1/lacnic/fases-de-agotamiento-de-ipv4>.
- [48] NCC R. IPv6 Enabled Networks;. Accessed: 29-11-2019. Available from: http://v6asns.ripe.net/v/6?s=_RIR_LACNIC.
- [49] Acosta A. Análisis sobre los anuncios de prefijos IPv6 en nuestra región;. Accessed: 23-1-2020. Available from: https://labs.lacnic.net/analisis_anuncio_ipv6_region_lacnic/.
- [50] LACNIC. Campus de LACNIC anuncia nuevos cursos en 2020;.
- [51] Tower S. Top Apps Worldwide for January 2020 by Downloads;. Accessed: 27-01-2021. Available from: <https://sensortower.com/blog/top-apps-worldwide-january-2020-by-downloads>.
- [52] NRO. IPv6 around the world;. Accessed: 6-8-2020. Available from: https://www.nro.net/wp-content/uploads/NRO_AroundTheWorld.pdf.

ANEXOS

Anexo 1

Plan inicial del trabajo proyectado

El plan de trabajo contiene las etapas proyectadas inicialmente y los resultados esperados de cada etapa, incluyendo plazos y una evaluación de riesgos de ejecución.

1.1. Etapas proyectadas

A continuación se definen las etapas proyectadas inicialmente para el desarrollo del trabajo. Este plan se vio modificado durante la ejecución de la investigación. Sin embargo, fue efectivo como hoja de ruta.

1.1.1. Etapa 1: Relevamiento de las mejoras propuestas por IPv6

Descripción: se realizará una investigación de las mejoras que planteaba IPv6 en sus orígenes y luego se validará si esas mejoras se siguen cumpliendo actualmente.

Objetivo: relevar las mejoras planteadas inicialmente por IPv6 en la década de los noventa.

Resultados esperados: se espera adquirir conocimiento más profundo sobre innovación en temas de IPv6 en Uruguay. Además se tiene la hipótesis de poder encontrar que si bien algunas de las mejoras de IPv6 se aplican a la realidad actual, otras prevalecen con IPv4. Es decir, que no resulta tan necesaria la

implementación de IPv6 para obtener mejores resultados en la red. Se espera ver casos en los que la falta de implementación de IPv6 en algunos sitios genera dificultades para obtener buenos resultados. Se incluirá como parte de la documentación de la tesis las principales mejoras propuestas por IPv6 en sus comienzos.

1.1.2. Etapa 2: Identificación de los principales actores para la implementación de IPv6 en Uruguay

Descripción: Se realizará un estudio para clasificar cuáles son los principales actores que afectan en la usabilidad de Internet (proveedores de contenido, ISP, Usuario final) en Uruguay. Luego se determinará cuánto incide que cada uno de ellos hayan implementado IPv6 y cuánto incide que otros no lo hayan implementado. Además se investigará cómo se distribuye el tráfico en Internet para los ISP en Uruguay: el porcentaje de tráfico utilizado en aplicaciones punto a punto y el porcentaje de tráfico utilizado en aplicaciones centralizadas en la nube.

Objetivo: Identificar a los principales actores para la implementación de IPv6 en Uruguay.

Resultados esperados: Se espera obtener un listado de los principales actores junto con la argumentación que lo respalda.

1.1.3. Etapa 3: Casos prácticos de implementación de IPv6 en Uruguay

Descripción: Se realizará un estudio de tres casos prácticos de ISP que hayan implementado IPv6 en Uruguay: ANTEL, Telefónica y UDELAR. Se investigará para cada organización:

- Motivaciones para la implementación de IPv6. Se indagará cómo surgió la motivación por la implementación de IPv6, de qué área de la organización proviene esa motivación (técnica, finanzas, entre otras) y cómo esa motivación se transforma en un proyecto que se traslada al tomador de decisiones junto con el resto de la organización.
- Obstáculos. Se investigarán los obstáculos que tuvo que vencer cada organización (económicos, de capacitación, operativos, etc.) para lograr con éxito la implementación de IPv6.

- Costos de la implementación
- Necesidad de capacitación de personal sobre IPv6. Se determinará la cantidad de personal que tuvo que capacitar cada organización y si además tuvo que contratar personal adicional.
- Resultados luego de la implementación (ventajas y desventajas)
- ¿Ser o no ser más competitivo por tener IPv6? Se consultará a cada organización si luego de finalizada la implementación, la organización se considera más competitiva por tener IPv6 con respecto al resto de los ISP de Uruguay que no lo tienen.

En esta etapa se contactará con las tres organizaciones y se trabajará a través de entrevistas e intercambio de correo electrónico.

Objetivo: Obtener información sobre la experiencia de implementación de IPv6 de tres ISP (ANTEL, Telefónica y UDELAR).

Resultados esperados: Se tendrá como parte de la documentación de la tesis, información sobre diversos aspectos de la implementación.

1.1.4. Etapa 4: Comparación de las etapas 1 y 3

Descripción: En esta etapa se contrastarán las etapas 1 (objetivos y mejoras que presentaba IPv6 en sus inicios) y 3 (resultados de 3 ISP que hayan realizado la implementación de IPv6).

Objetivo: Observar las diferencias entre los objetivos originales de IPv6 y cómo se aplican actualmente.

Resultados esperados: Se espera encontrar diferencias en los objetivos originales y su aplicación real.

1.1.5. Etapa 5: Limitaciones y alternativas de ISP que no han implementado IPv6 en Uruguay

Descripción: Se investigarán cuáles son las limitaciones que tiene un ISP en Uruguay si no implementa IPv6 con respecto al resto de sus competidores. Además, se identificarán las alternativas, como por ejemplo, NAT que tiene un ISP que no implementa IPv6 para solventar los problemas que le genera IPv4. En general estas soluciones son costosas de implementar y no son viables a largo plazo.

Objetivo: identificar las limitaciones de ISP en Uruguay para implementar

IPv6 y que alternativas tienen de no implementarlo.

Resultados esperados: Documentación sobre las principales limitaciones y alternativas para la implementación de IPv6 para ISP en Uruguay,

1.1.6. Etapa 6: Contexto en Uruguay

Descripción: En esta etapa se describirá cuál es el contexto que Uruguay presenta para esta implementación. Entre los factores que podrían contribuir al despliegue se investigará si hay algún apoyo del gobierno uruguayo, si existe una cantidad suficiente de personal capacitado en nuestro país que sepa trabajar con este protocolo, si en Uruguay es posible acceder al hardware necesario y si es posible conseguirlo a un precio accesible. Además, se investigarán si existen otros factores del contexto uruguayo que influyan en favorecer o no la implementación IPv6 y se propondrán iniciativas que contribuyan con la innovación de IPv6 en Uruguay. Adicionalmente, se investigará qué rol toman AGESIC y la URSEC como instituciones de gobierno y reguladores relevantes en este aspecto.

Objetivo: presentar el contexto que presenta Uruguay para la implementación de IPv6, identificar actores que contribuyen a la implementación y proponer iniciativas que favorezcan la innovación de IPv6 en Uruguay.

Resultados esperados: documentación que explique si el contexto en Uruguay favorece o no a la implementación de IPv6 junto con propuesta de iniciativas para favorecer la innovación en Uruguay.

1.1.7. Etapa 7: Posicionamiento de Uruguay en la región

Descripción: Se describirá el grado de avance de despliegue de IPv6 en Uruguay.

Objetivo: Identificar cómo se posiciona Uruguay en cuanto al despliegue de IPv6 en la región e identificar si cualquier usuario final puede usar sus servicios o aplicaciones en IPv6.

Resultados esperados: Documentación sobre el posicionamiento de Uruguay en la región respecto al despliegue de IPv6.

1.1.8. Etapa 8: Documentación final

Descripción: Se trabajará en dejar prolija la documentación final. Se corregirán errores de redacción, de estilo, de ortografía entre otros. Se realizarán varias lecturas del documento y se compartirá con otros lectores para recibir sus aportes.

Objetivo: Dejar prolija la documentación final.

Resultados esperados: Documentación final de la investigación

1.2. Etapas ejecutadas

1.2.1. Etapa 1: Relevamiento de las mejoras propuestas por IPv6

Resultado: esta etapa se ejecutó dentro de lo previsto.

1.2.2. Etapa 2: Identificación de los principales actores para la implementación de IPv6 en Uruguay

Resultado: Se ejecutó correctamente. Sin embargo, durante el proceso de investigación se decidió agregar un actor de gobierno que no estaba previsto para tener un panorama más amplio.

1.2.3. Etapa 3: Casos prácticos de implementación de IPv6 en Uruguay

Resultado: Inicialmente se planificó estudiar solamente los casos de AN-TEL, Telefónica y UDELAR y luego se sumaron los casos de AGESIC y UR-SEC. Por lo cual, requirió de mas entrevistas y por lo tanto más tiempo.

1.2.4. Etapa 4: Comparación de las etapas 1 y 3

Resultado: Se ejecutó correctamente.

1.2.5. Etapa 5: Limitaciones y alternativas de ISP que no han implementado IPv6 en Uruguay

Resultado: si bien se ejecutó correctamente, esta etapa se prolongó más de lo esperado debido a que como se mencionó anteriormente se sumaron entrevistas y era necesario evaluar todas las entrevistas en su conjunto.

1.2.6. Etapa 6: Contexto en Uruguay

Resultado: Se ejecutó correctamente.

1.2.7. Etapa 7: Posicionamiento de Uruguay en la región

Resultado: Se ejecutó correctamente.

1.2.8. Etapa 8: Documentación final

Resultado: Esta etapa llevó más de lo esperado debido a que se hicieron varias revisiones y cambios en el transcurso de la documentación para mejorarlo.

Anexo 2

Entrevistas

En este anexo se presentan las entrevistas realizadas a ANTEL, Telefónica, SECIU, AGESIC y URSEC.

2.1. Entrevista a ANTEL

Entrevista realizada el día 17/12/2019

Se entrevistó a Pablo Cuello (Experto de la División Gestión Estratégica en el desarrollo de la infraestructura de Internet de Antel) y Felipe Rivera (Ingeniero Especialista / Servicios Convergentes en ANTEL)

1. Planificación de la implementación. ¿Cómo surgió la motivación para implementar IPv6 en su organización?

El involucramiento de ANTEL (Administración Nacional de Telecomunicaciones de Uruguay) comienza en el 2005 con las primeras pruebas para el IPv6 tour organizado con LACNIC.

Para este evento se obtuvo una asignación provisoria de direcciones desde LACNIC y se configuró parcialmente la red para que pueda soportar los servicios dual-stack, de forma que pudieran establecerse conexiones tanto en IPv4 como en IPv6. Luego, se instalaron dos servidores para soportar el servicio de DNS recursivo y autoritativo, y también se desarrolló un portal web de pruebas. Un año después, se obtuvo un bloque de direcciones IPv6 que actualmente se usa y se diseñó un primer plan de numeración configurando toda la estructura IP.

A partir de esta iniciativa, el grupo de ingeniería continuó realizando el despliegue de IPv6 ya que no significó ningún problema, sino que se

continuó con el despliegue de a poco.

2. Durante la implementación. ¿Cómo esa motivación se transforma en un proyecto que se traslada al resto de la organización?

La principal motivación surge del equipo de ingeniería de ANTEL, que entendían la necesidad que se planteaba de satisfacer requerimientos para el IPv6 tour y de lo que implicaba la nueva tecnología como estrategia a futuro. De esta forma el proyecto empezó a tomar forma y fue creciendo desde ingeniería, donde estuvieron de acuerdo en que todo tenía que pasar a ser dual stack.

Desde el 2006 al 2010 se realizó la habilitación del protocolo en todas las conexiones con otras redes, tanto de aquellas que proporcionaban solo tránsito, como la de clientes y se realizaron algunas pruebas con clientes de Acceso a Internet Empresarial y en la red móvil 3G. Más tarde, se actualizaron los sistemas operativos de diversos equipamientos de red y se configuró el protocolo IPv6 en la red de agregación de servicios empresariales y en las redes que soportaban la infraestructura de CDNs (Redes de Distribución de Contenidos).

Durante el año siguiente se definió el modelo de servicio residencial con soporte dual-stack (o sea, tanto en IPv4 como en IPv6) y se comenzó a exigir, desde ese momento, el soporte de IPv6 en todas las compras de infraestructura de servicio.

En 2013, en el momento que se necesitaba realizar la compra de nuevos equipos, se licitaron equipos de agregación de servicios residenciales con el mismo soporte. El objetivo era que una vez que se tenía que hacer la compra de nuevos equipos aprovechar la oportunidad para hacerlo soportando IPv6 y comenzar con la implementación del protocolo. Si bien la compra de los equipos se realizó, debido a múltiples inconvenientes fue necesario postergar la implementación completa.

En el año 2014 se comenzó a soportar el protocolo en los servicios empresariales y se configuró un APN (el Nombre de Punto de Acceso para conectarse a una red móvil) de prueba dual-stack usando la tecnología LTE.

Durante el 2016 y comienzos de 2017 se validaron los modelos de servicio fijos y móviles, se realizaron actualizaciones en equipos de la red de acceso óptico y se capacitó a los grupos de operación y soporte de reclamos.

En el 2017 se comenzó la habilitación de IPv6 en servicios residenciales y para fines de 2018 se completó el trabajo posicionando a Uruguay en el lugar 5 del mundo con cerca de un 30% de adopción del protocolo.

3. ¿Cuáles fueron los principales obstáculos que debieron enfrentar durante su implementación? (económicos, capacitación del personal, operativos, entre otros.)

Los mayores obstáculos han sido a nivel de interés de implementación en el cliente. Debido a que es un servicio invisible para el usuario final, éste no ve la necesidad de implementarlo, por lo cual, si bien desde ANTEL la red está pronta para ser utilizada en IPv6, el cliente no lo pide.

Otro obstáculo para la implementación fue que para tomar las decisiones que pueden impactar en el usuario hay que pasar por procesos más largos que involucran a muchas personas y, la necesidad de implementar IPv6 no llega a satisfacer el riesgo que puede implicar (destinar muchas horas a pruebas y cambios de configuración en la red necesarios). Por ejemplo, en empresarial en un momento surgió un problema y por mas que se podría haber resuelto fácilmente, se decidió no habilitarlo por defecto, porque no se encontró una necesidad que lo justificara. Adicionalmente, la parte móvil hace tiempo está pronta para ofrecerse en IPv6, pero aún no se ha realizado. No hemos recibido solicitudes de ello.

Lo que sucede muchas veces es que desde el área de tomadores de decisiones de una empresa, consideran que el riesgo que les implica realizar el cambio a IPv6 no justifica la cantidad de reclamos que puedan llegar a tener, y que además, aunque se haga, el cliente no lo usa ni lo pide.

Actualmente no hay IPv6 por defecto para clientes empresariales, pero si está disponible para todo aquel que lo pida. La realidad es que lamentablemente prácticamente nadie lo pide.

Otra dificultad en la implementación fue con respecto a algunos dispositivos domésticos, por ejemplo: los smart TVs, que no lo implementan bien. Muchas veces el vendedor dice que funciona, pero después no funcionaba realmente, y esto implica un riesgo. En este caso, luego de realizar una investigación se detectó que el equipo de borde tenía algunas políticas que no estaban logrando acceder a la dirección IPv6 que se le configuraba por defecto al dispositivo. Luego de intercambios con el proveedor, se acordó que actualice el firmware para que acepte IPv6 y el problema

quedó solucionado. Como toda nueva tecnología, siempre habrá problemas que van a ir surgiendo y habrá que ir solucionando, pero lo que vemos es que la mayoría de tomadores de decisiones no ven la necesidad de enfrentarlos aún.

4. ¿Han tenido que capacitar al personal en IPv6 o contratar nuevo personal especializado?

A nivel de capacitación, ANTEL venía manejando hace tiempo la capacitación en IPv6, desde el comienzo del IPv6 tour, y siempre continuó capacitando a su personal porque entendía que era la necesidad del futuro. En 2017 fue cuando se puso en producción, por lo cual se tuvieron varios años para capacitar al personal.

Con respecto a capacitación en el área de atención en cliente, es difícil que puedan solventar dudas con respecto a IPv6, ya que sus protocolos no llegan a temas tan técnicos, ni con IPv4 ni con IPv6.

5. Evaluación de la implementación. ¿Qué servicios ofrece ANTEL hoy en IPv6 a sus clientes?

Los servicios residenciales se ofrecen en IPv6 por defecto. Los servicios empresariales tienen la opción de obtenerlos solamente si lo solicitan. Sin embargo casi ninguno lo solicita.

6. Competitividad en el mercado. ¿Tuvieron alguna valoración (positiva o negativa) de sus clientes por la implementación?

Muy poco, entendemos que IPv6 es invisible para el usuario final. La mayoría de los usuarios finales no saben qué es una dirección IP y menos aún IPv6. Solamente hemos recibido algunos mensajes de algunos grupos reducidos que tienen conocimiento del tema.

7. Innovación. ¿Les parece que IPv6 es una herramienta para el desarrollo de innovación?

Cuando ANTEL comenzó con el plan piloto se le empezó a ofrecer a los clientes como prueba de los servicios en IPv6, y los grupos operativos se empezaron a involucrar más. Llevar todo al backbone de agregación llevo un tiempo porque significó varias horas de prueba, pero finalmente se logró llegar al cliente.

Sin embargo, casi nadie estaba interesado en IPv6, por más que se podía llegar al cliente, finalmente a muy pocos les interesaba. Se esperaba que los espacios académicos que son quienes más trabajan en investigación, desarrollo e innovación, iban a venir a pedir servicios en IPv6, pero tampoco lo hicieron.

Por lo cual, por lo menos hasta el momento no vemos una demanda de servicios en IPv6, ni un deseo por innovación en IPv6, al menos hasta ahora.

2.2. Entrevista a Telefónica

Entrevista realizada el día 18/12/2019

Entrevista realizada a Eduardo Cota, trabaja en planificación de núcleo de red celular.

1. Planificación de la implementación. ¿Cómo surgió la motivación para implementar IPv6 en su organización?

La directiva de Telefónica global ha enviado una recomendación de implementar IPv6, pero no como un requerimiento. Si bien se ha implementado y avanzado mucho en IPv6 desde Telefónica Uruguay, aún no se llega a cumplir con el 100 % de la recomendación.

La principal iniciativa de implementación surge desde ingeniería. LAC-NIC como cliente de Telefónica nos solicitó darles tránsito en IPv6, y esa fue una buena excusa para empezar a hacerlo. A partir de ese momento se levantaron los equipos con dual stack, se hizo VPN v6 para algunos tráficos de IPv6, y también para voz sobre LTE.

2. Durante la implementación. ¿Cuáles fueron los principales obstáculos que debieron enfrentar durante su implementación? (económicos, capacitación del personal, operativos, entre otros.) Levantar IPv6 genera nuevos problemas y para cliente final es invisible, no percibe un beneficio adicional.

En el momento de la implementación de IPv6 en el sistema comercial también surgieron problemas porque no entendía IPv6. Si bien eran pro-

blemas fácilmente solucionables, se decidió no avanzar en esto por el balance del riesgo/beneficio que podría traer.

En móviles tiene mayor costo porque se levantan dos sesiones: una IPv4 y una IPv6, y tenemos que pagar una licencia por cada sesión. Si bien hoy en día no debería representar un costo considerable, hace un tiempo sí. Este tipo de cosas han sido obstáculos que representaban riesgos y que frenaron la implementación.

Hay mucho temor y desconocimiento por la gente de operaciones. Es difícil asumir riesgos para los que no se obtendrá un beneficio a cambio, es decir, que los resultados no mejorarán la situación actual.

3. ¿Han tenido que capacitar al personal en IPv6 o contratar nuevo personal especializado?

A nivel de capacitación Telefónica fue capacitando personal desde los comienzos que surgió la iniciativa de implementación del nuevo protocolo. La gente de operaciones de datos ha tomado varios cursos sobre IPv6. De todas formas, se manda a la gente a un curso, pero deben tener la confianza para poder resolver los problemas en IPv6.

4. Evaluación de la implementación. ¿Qué servicios que ofrece Telefónica hoy en IPv6 a sus clientes?

La red de transporte, bordes de Internet y tránsito está en IPv6. Se ofrece IPv6 a los clientes corporativos, a los que llegan por enlaces fijos. Se puede dar tránsito por IPv6 a quienes lo piden. Actualmente solamente dos clientes lo piden.

En el caso de otros servicios, como por ejemplo, solicitud de delegar un DNS reverso, poner un servidor de correo en un servicio IPv6 y la posibilidad de realizar IPv6 only, no se ofrecen por defecto, pero si alguien lo pide se podría configurar sin problemas. Sin embargo, la realidad es que nadie lo pide.

Por otra parte, para VoIP se utiliza IPv6, pero no se usa en APNs masivos por clientes porque no hay una presión importante para hacerlo

Las redes celulares vienen medio retrasadas con IPv6. En el momento de su implementación se encontró que había más de una opción de soporte, lo cual podría traer problemas. Se decidió que sería más una complicación con poco retorno.

Lo otro que quedó pendiente de pasar a IPv6 son los data centers, el portal y la página principal de telefónica, no tienen IPv6, porque hasta el momento no surgió la necesidad. Lo que se ofrece todo en IPv6 es la parte de voz en LTE. Esto se debe a que cuando se fue a implementar como servicio nuevo, directamente se implementó en IPv6. Como política general siempre que implementamos algo nuevo tenemos previsto hacerlo en IPv6, pero los servicios que están en línea son más difíciles de cambiar. Adicionalmente, las empresas no piden VPNs con IPv6. Hasta ahora solamente nos pasó que algún cliente internacional preguntó si soportamos IPv6, pero nada más.

5. ¿Cómo ven a futuro continuar con la implementación de IPv6?

Por el momento en 2020 no lo tenemos como objetivo de darlo masivo. Hasta el momento no hemos tenido problemas por la falta de IPv6, no hemos recibido ningún reclamo de clientes. Tampoco hemos recibido problemas por sitios IPv6 only. Lo que vemos que está sucediendo es que las aplicaciones de los últimos años prevén que la mayoría de proveedores utilizan NAT y desarrollan en base a eso, para que no les genere un problema al usuario final.

Adicionalmente el CGNAT que utilizan actualmente para la escala de clientes de Uruguay puede durar muchos años y no ha generado problemas hasta el momento. Por lo cual no justifica la necesidad.

De todas formas, para el momento que sea necesario, quedan muy pocos servicios que no sean IPv6 compatible, y al ser un mercado chico es más fácil realizar el despliegue.

Nos gustaría realizar el despliegue completo de IPv6 pero no tenemos el personal suficiente, ya que siempre hay cosas de mayor prioridad.

Sabemos que finalmente lo terminaremos haciendo pero es difícil que lo logremos hasta que no sea una prioridad.

Desde mi punto de vista la idea es tener todo listo para cuando digan lo precisamos, pero nadie lo dice.

Por otra parte, desde Telefónica todos los servicios nuevos que se desarrollan y el equipamiento nuevo que se compra, se aprovecha a hacerse directamente en IPv6.

6. Competitividad en el mercado. ¿Tuvieron alguna valoración (positiva o

negativa) de sus clientes por la implementación?

No en general. Solamente nos llegó algún requerimiento de clientes internacionales pero nada más que eso.

7. Innovación en Uruguay. ¿El contexto en Uruguay contribuye o dificulta la implementación de IPv6?, ¿de qué forma?

El principal obstáculo que dificulta la implementación de IPv6 es que no tenés demanda, hay un freno, y por eso es difícil justificar un proyecto que significa gastar recursos si no se ve un problema a corto plazo con el negocio.

Se espera que a corto plazo se empiece a notar IPv6 en Uruguay, pero estamos muy dormidos aún.

8. ¿Qué acciones podría implementar el gobierno de Uruguay para estimular el desarrollo de innovación en IPv6?

Una acción podría ser asegurarse que los portales públicos estén disponibles en IPv6. Eso ayudaría a darle visibilidad al tema.

9. ¿Consideras que IPv6 es innovador?

No, nunca lo fue. IPv6 es un parche de IPv4 con mayor cantidad de direcciones. Se complicaron varias cosas como: DHCP y autoconfiguración. Varias cosas que se buscaban resolver inicialmente no se resolvieron, se usan los mismos protocolos de ruteo, y no se logró resolver temas a nivel de seguridad, ni de funcionalidades.

No hay grandes cambios más allá que la autoconfiguración, pero no hay a nivel de ruteo. Desde el punto de vista del que lo va a usar, la única ventaja es que tiene más direcciones. Con respecto a su necesidad para IoT, hay varias soluciones tentativas que resuelven el problema de direcciones IP limitadas.

El problema más grande es para un nuevo proveedor que ingresa en el mercado y no tiene IPv4, pero no para los ya establecidos.

Ninguno de los cuatro mayores ISP de Uruguay tienen problemas de agotamiento porque ninguno de los clientes nos exigen direcciones IP públicas. Hay que estar listo porque en algún momento va a saltar la necesidad.

2.3. Entrevista a SeCIU

Entrevista realizada el día 23/12/2019.

Sergio Ramírez y María Cervantes: docentes del área de la RAU del SECIU

El SeCIU da servicios de informática transversal a toda la universidad. Se divide en dos áreas:

1. Área Gestion universitaria

Brinda servicios transversales a toda la universidad: sistema de administración, bedelías y todo lo relacionado, sistema de personal (docentes, etc.), sistema de administración de bibliotecas, sistemas de información financiera, soporte informático. Cada facultad tiene su propia unidad de informática con autonomía propia. De todas formas, coordinan con SECIU los módulos de software. También tienen centralizado los sistemas de resoluciones de actividades universitarias, y de seguimiento de expediente electrónico.

2. Área red académica Manejan la infraestructura de red, el acceso a Internet y brindan asesoramiento de servicios a Internet e instalación de redes. Tienen a cargo el manejo del backbone principal e interconecta a todas las facultades. Hay 62 enlaces, de los cuales casi la mitad están en el interior. El servicio de conectividad es el enlace hasta el router que está en cada facultad. De ahí para adentro cada facultad lo administra.

1. ¿Cuál es la situación actual del despliegue IPv6?

Actualmente la conectividad a Internet a nivel de backbone está garantizada para cada facultad, hacia adentro depende de cada facultad. Hoy en día son muy pocos los que tienen habilitado IPv6: Universidad de Derecho, algunas unidades del interior (Salto, Rocha, Maldonado, Treinta y Tres), CIN (Centro de Investigaciones Nucleares), Facultad de Ciencias, Facultad de Arquitectura y el propio SECIU. La mayoría de universidades no lo implementan porque no ven la necesidad y siempre hay otras prioridades.

El SECIU hizo recomendaciones de implementación de IPv6 e incluso se ofrece soporte para quienes lo soliciten.

2. Planificación de la implementación. ¿Cómo surgió la motivación para implementar IPv6 en su organización?

Como red académica, siempre se trata de implementar lo innovador. María Cervantes (parte del área docente del staff de SECIU) realizó su tesis sobre la conexión de la red académica al proyecto 6Bone, en el año 2000. El proyecto consistía en conectar la red académica a una red experimental de alcance global, denominada 6bone, de la Universidad de Merit en EEUU. Como no había IPv6 nativa, se conectaba todo a nivel de túneles. Luego de que el proyecto quedó operativo, se comenzó a ofrecer el servicio IPv6 lo a las redes académicas en Uruguay. La red académica no es solo la Universidad de la República, sino que también el Instituto Pasteur, la ORT, entre otros. Cuando se ofreció conectividad en IPv6 en modo experimental a todas las universidades ninguno quiso utilizarla.

Además del 6bone, se tenían relaciones con otras universidades y se establecieron túneles con la Universidad de RNP (la red académica de Brasil) y con la Universidad de La Plata (en Argentina), RETINA (Argentina) y UNAM (México). En esta etapa el SECIU contaba con un bloque de experimentación, luego, cuando LACNIC comenzó a asignar prefijos IPv6, les asignó un prefijo 2001:1328::/32 definitivo (20 de julio de 2004).

Durante el año 2005 se realizó el IPv6 tour, en el cual el SECIU participó y expuso su experiencia.

Luego, se empezó a configurar el despliegue de IPv6 para cada universidad. Al igual que se hizo en IPv4, se le ofreció a ANTEL realizar pruebas en IPv6. ANTEL aceptó y se logró acceder a Internet a través de IPv6 y finalmente pidieron su propio bloque IPv6.

Cuando el SECIU pidió su bloque IPv6 por primera vez, no se podía salir a Internet porque ANTEL no ofrecía servicio en IPv6 en ese momento. Se salía a Internet por el túnel con la red 6bone además de una conexión nativa a IPv6 por Red CLARA.

A nivel de DNS, al ser administradores del dominio .uy, debían ofrecerlo también con IPv6. Nuestro servidor primario operaba con IPv6 desde el 2005. A partir del 2009, se modificó el servicio de registro para que un nombre de dominio UY pudiera registrarse con direcciones IPv6. A pesar de esto, hoy en día hay apenas un par de decenas de servidores

DNS registrados del tipo AAAA.

3. ¿Qué actividades con relación a IPv6 ha realizado SECIU?

Se participó en las primeras agendas digitales de AGESIC y se propuso como objetivo desarrollar IPv6. Luego AGESIC lo tomó la iniciativa como propia.

En resumen, los servicios que brinda SECIU con relación a IPv6 son: conectividad en el backbone, conectividad nativa, que el DNS se pueda registrar en IPv6 y también se dan recomendaciones y soporte (en caso de ser solicitado) al resto de las instituciones sobre la implementación de IPv6. Sin embargo, no se puede tomar la decisión dentro de cada facultad, ya que cada facultad tiene autonomía propia de decisión.

Dentro del SECIU tampoco se han desarrollado servicios con IPv6. Aún no se ha considerado prioritario.

Por otra parte, está establecido que todos los sistemas de gestión y software que en alguna parte se haga algo con direcciones IP que se hacen en SECIU, tienen que hacerlo en IPv4 e IPv6, de forma de continuar con el despliegue.

4. Durante la implementación

¿Cuáles fueron los principales obstáculos que debieron enfrentar durante su implementación? (económicos, capacitación del personal, operativos, entre otros.)

Debido al proyecto 6bone, ya se tenía experiencia previa, por lo cual no se tuvieron mayores obstáculos en cuanto a la implementación.

El problema venía por el lado que no todos los proveedores de equipamientos tenían IPv6 muy estable (conocido como: IPv6 ready). Por lo tanto, siempre que el SECIU compra equipamiento se requiere que tenga “IPv6 ready”, que sea compatible con IPv6.

Al principio todo lo relacionado con IPv6 era más complejo porque había muy poca información, algunos equipos no lo soportaban y no había mucho a quien preguntar. Hoy en día esto a cambiado y hay mucha información y redes a las cuales consultar.

5. ¿Han tenido que realizar capacitación de personal sobre IPv6 o contratar nuevo personal especializado?

Inicialmente eran solo Sergio Ramírez y María Cervantez (parte del staff docente del SECIU) que comenzaron con el proyecto. Con el IPv6 tour

hubo un gran interés por parte de gente de ANTEL, gente de la Facultad de Ingeniería y personas individuales, quienes juntos formaron el equipo de trabajo “IPv6 task force” de Uruguay. En ese marco había una gran motivación, hicieron una jornada doble de capacitación en el LATU con gran éxito e interés (en el año 2006).

6. IPv6 a futuro

¿Qué les parece que sucederá con IPv6 en un futuro próximo, será realmente necesario?

En algún momento les va a impactar a todos. Actualmente la situación en la mayoría de las instituciones es que tienen poco personal destinado a proyectos de mayor prioridad y no les alcanza para destinarlo a este tipo de proyectos de investigación.

Lo que tampoco ayuda es ser un mercado de una plaza tan chica, ya que con las direcciones IPv4 que tenemos disponibles (un bloque de direcciones IPv4 /16) se solucionan todos los problemas. Además otras alternativas como NAT y CDN tampoco contribuyen. Mientras la conexión peer to peer no se masifique no se ve la necesidad.

7. ¿El agotamiento IPv4 es una motivación para la implementación de IPv6?

Con respecto al agotamiento de IPv4 es difícil que se vea como un argumento real para la situación del SECIU, ya que tenemos asignado un bloque /16 en IPv4 y para el mercado de Uruguay esto es más que suficiente por mucho tiempo.

8. Innovación en Uruguay

¿El contexto en Uruguay contribuye o dificulta la implementación de IPv6?, ¿de qué forma?

El contexto en Uruguay tiene sus ventajas y sus desventajas, teniendo en cuenta que ANTEL a nivel de conectividad fija tenga el monopolio. El argumento en contra es que mientras ANTEL no lo haga, nadie tiene IPv6. El argumento a favor es que si ANTEL lo implementa, se masifica y se logra un despliegue completo de IPv6.

9. ¿Qué acciones podría implementar el gobierno de Uruguay para estimular el desarrollo de innovación en IPv6?

Dentro del ámbito gubernamental ayudaría que el estado diga que el que se conecta a IPv6 podría realizar trámites más rápidos (o algún beneficio a los particulares o a los ISP). La implantación de IPv6 estuvo en forma

explícita en las agendas digitales anteriores. En la última no figura en forma explícita.

Otra acción que contribuiría es que los principales actores (Google, Facebook, etc.) hagan diferencia entre IPv4 e IPv6.

12. ¿Consideras que IPv6 es innovador?

Si, pero para los que trabajan en infraestructura, al usuario final le da lo mismo. Debería ser la base para que sobre eso surgieran nuevas cosas, innovación.

Con innovaciones como el IoT también debería aparecer la necesidad de tener direcciones IPv6.

2.4. Entrevista a URSEC y AGESIC

Entrevista realizada el día 30/12/2020 a Fernando Hernández (FH) de URSEC y a Carlos Lema (CL) de AGESIC.

1. ¿Se han realizado acciones desde el gobierno para promover el despliegue de IPv6?

FH: Se ha creado un grupo llamado IETF Uruguay desde el cual se han realizado varias actividades entre equipos técnicos para capacitar e intercambiar ideas sobre IPv6. La principal actividad fue un evento de IPv6 realizado en el LATU.

Además, desde la URSEC, con respecto al desarrollo histórico, se trató de hacer compras de equipos con compatibilidad de equipamiento con soporte IPv6.

Otra acción que se realizó es que el tema de IPv6 estaba incluido en la agenda digital vieja.

CL: AGESIC se fijó como hito tener IPv6 en todos los servicios de todos los portales del estado (gub.uy). En el 2012 fue el IPv6 day, en el cual la idea era tener todos esos portales con IPv6. En ese momento se puso un proxy para pasar de IPv4 a IPv6. Eso funcionó bien, se hizo para impulsar el IPv6 day y se mantuvo así en el tiempo. Ese impulso fue perdiendo fuerzas y al final sólo fueron quedando los portales y algún sitio más, pero el resto no.

Una limitante que hemos tenido es en un proyecto de geodistribución

para mudar a otro datacenter en Pando. El problema es que ANTEL no brinda IPv6 sobre BGP en el datacenter de Pando y por eso tenemos esa parte trancada. Otro problema es que no ponen el acelerador porque hay otras prioridades. Este año están trabajando en un proyecto que les va a permitir los dos servicios activos. La idea es apuntar a tener IPv4 e IPv6 en todos los servicios públicos

2. ¿Qué obstáculos detectan que han tenido los ISP durante la implementación de IPv6?

FH: ANTEL por ejemplo, inicialmente tuvo problemas en el equipamiento de fibra óptica para la configuración de IPv6. Sin embargo, cuando levantó ese problema pudo dar un salto y lograr un gran despliegue. Después ANTEL logró incluso incorporar IPv6 en el mercado móvil.

3. ¿Cuáles les parecen los obstáculos más significativos que limitan el despliegue de IPv6 (económicos, capacitación del personal, operativos, entre otros)?

FH: Si bien en un momento se transmitió a las empresas la importancia de pasar a IPv6, el problema estaba en el usuario final, quien no identifica una necesidad por el nuevo protocolo y esa es una de las principales razones de su lenta transición. No hay un driver económico ni de incentivo que obligue o genere un cambio per se.

El problema es cómo convencer al usuario que cambie su router si él no percibe el problema. El usuario final no enfrenta a una realidad evidente que lo haga decidir que hay que cambiarse a IPv6, de ser así el nivel de adopción tendría que haber sido mayor.

La capacitación de los técnicos también es necesaria. Por otra parte, en plena crisis no es fácil pedir erogaciones extras para la implementación de IPv6, ya que hay otras prioridades.

CL: La implementación de IPv6 tiene obstáculos más que nada por el lado de los clientes que consumen los servicios. Otra limitante son los temas de seguridad (por NAT). Los técnicos no tienen el tema de seguridad tan en la cabeza de IPv4 e IPv6. Los portales que se pusieron en el 2012 siguen respondiendo en IPv4 e IPv6 por un proxy pero pueden tener fallas porque tiene un problema de geodistribución.

Otra limitante es la seguridad (firewalling), ya que no todos los técnicos tienen la capacitación necesaria. No solo desde el lado del usuario final

sino que también desde el lado de quien brinda un servicio en IPv6.

4. ¿Les parece necesario el pasaje a IPv6?

FH: En algunos países ha sido más fácil detectar esa necesidad ya que varias empresas hacían doble NAT, lo que ocasionaba quejas al servicio que se estaba dando y eso obligó a las propias empresas a implementar IPv6 para mejorar el servicio brindado al usuario final.

Adicionalmente, desde el punto de vista de la URSEC las redes de los operadores móviles tendrían efectos de mejorar las prestaciones móviles.

5. ¿Se está tomando alguna acción actualmente para impulsar IPv6?

FH: A nivel regional, en la agenda digital Mercosur una de las líneas de acción era el despliegue de IPv6 en la región. En este marco se realiza un intercambio de buenas prácticas y experiencias exitosas de distintos ISP de la región. También se dicta capacitación. En las reuniones que se hacen en Uruguay el staff de LACNIC da un pantallazo de la situación en la región, da lineamientos, consejos de cómo avanzar y comparte otras experiencias.

6. ¿Cómo se posiciona Uruguay a nivel regional en cuanto al despliegue de IPv6?

FH: Lo que se observa es que los países tienen una gran desigualdad en cuanto al nivel de despliegue. Uruguay y Brasil están por arriba con un alto nivel de despliegue, mientras que Argentina y Paraguay están con niveles bastante por debajo. En particular, en Uruguay, el gran despliegue que ha realizado ANTEL es bueno. Por otro lado, faltaría dar un impulso al resto de las empresas para que el despliegue sea más efectivo.

A nivel internacional no podemos quedarnos atrás. Brasil está haciendo el despliegue de una forma muy eficiente. Uruguay, siendo más chicos deberíamos avanzar, hay que buscar la forma más eficiente.

7. ¿Qué acciones podría implementar el gobierno de Uruguay para estimular el desarrollo de innovación en IPv6? FH: Si ANTEL se pone las pilas podrían hacer una diferencia notoria. Por lo cual, aún hay trabajo por hacer. Siempre hay buena voluntad de LACNIC para trabajar juntos. Lo importante es que se necesita el impulso de todos los actores. Para los ISP tiene un costo por eso hay que trabajar en conjunto. De poco sirven los casos aislados. Se debería formar un grupo de trabajo y avanzar en determinados puntos y definir de acá a 4 años las acciones a tomar.

CL: En primer lugar hay que trabajar en el usuario que es la última milla. Otro desafío a nivel de estado es publicar todos los servicios en IPv6. Hay muchas cosas para hacer: difundir mejores prácticas, más información, llevar a las empresas a publicar sus servicios en los dos protocolos. Logramos un hito pero no logramos un caso ideal porque no estamos coordinados para avanzar. Se lograron hitos particulares pero no en conjunto, por lo cual se debería trabajar en un plan común entre todos. Se podría ver algún punto de la próxima agenda digital para armar grupo y comenzar a trabajar. Le falta la fecha de caducidad a IPv4. Es necesario el impulso de todos los dispositivos conectados.

Anexo 3

Fases de agotamiento de direcciones IPv4 en LACNIC

Las fases de agotamiento para la asignación de direcciones IPv4 se dividen de la siguiente manera [3](#):

1. Fase 0: Esta fase comenzó en octubre de 2013 y se asignaron recursos IPv4 hasta haber alcanzado el último /9 disponible.
2. Fase 1: Esta fase comenzó el 19 de mayo de 2014 y se asignaron recursos IPv4 hasta haber alcanzado el bloque /10 reservado para la fase de agotamiento gradual. Durante esta fase se aplicaron políticas de asignación más restrictivas, pero sin limitación de tamaño de asignación.
3. Fase 2: Esta fase comenzó el 10 de junio de 2014 y se asignaron recursos IPv4 hasta agotar el /10 reservado para la fase 2. En el transcurso de esta fase se podía asignar como tamaño de bloque máximo un /22 por organización.
4. Fase 3: Esta fase comienza al llegar a un bloque /11. Esta reserva será el último espacio disponible de LACNIC. Está compuesto por bloques IPv4 post agotamiento asignado por la IANA, junto a bloques recuperados y devueltos. De este espacio solo se podrán hacer asignaciones entre un /22 y un /24. Cada nuevo miembro podrá recibir solamente una asignación inicial de este espacio.