



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero/a en Tecnologías de la Información

Tema: Diseño e implementación de un sistema de balanceo de carga basado en inteligencia artificial mediante aprendizaje por refuerzo para redes de un proveedor de servicios de internet (ISP)

Autor: Chafla Carguacundo, Karem Estefania y Guamán Pila,
Vinicio Paul

Tutor: Ing. Bustos Sánchez, Cristian Santiago, PhD.

Sangolquí, 6 de Agosto de 2026

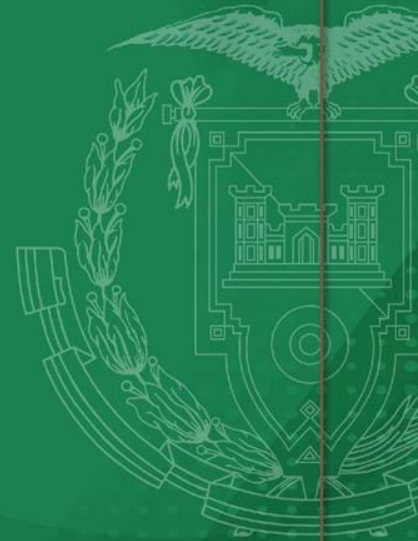




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

1. Introducción
2. Trabajos Relacionados
3. Metodología
4. Análisis y diseño de la solución
5. Arquitectura del sistema
6. Desarrollo e implementación
7. Evaluación
8. Discusión de resultados
9. Recomendaciones y trabajos futuro



Introducción



Incremento del tráfico en redes ISP.



Limitaciones del balanceo de carga tradicional.



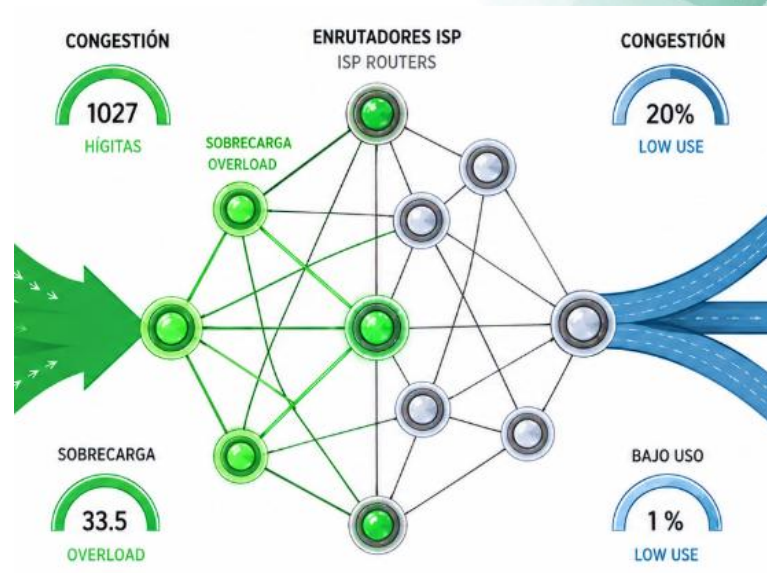
Necesidad de optimizar la distribución del tráfico.



Propuesta de un sistema basado en Q-Learning.



Implementación y evaluación en un ISP real.



Antecedentes



Contexto (Demanda de Tráfico)

- Crecimiento de Datos
- Crecimiento de tráfico



El Reto (Limitación Actual)

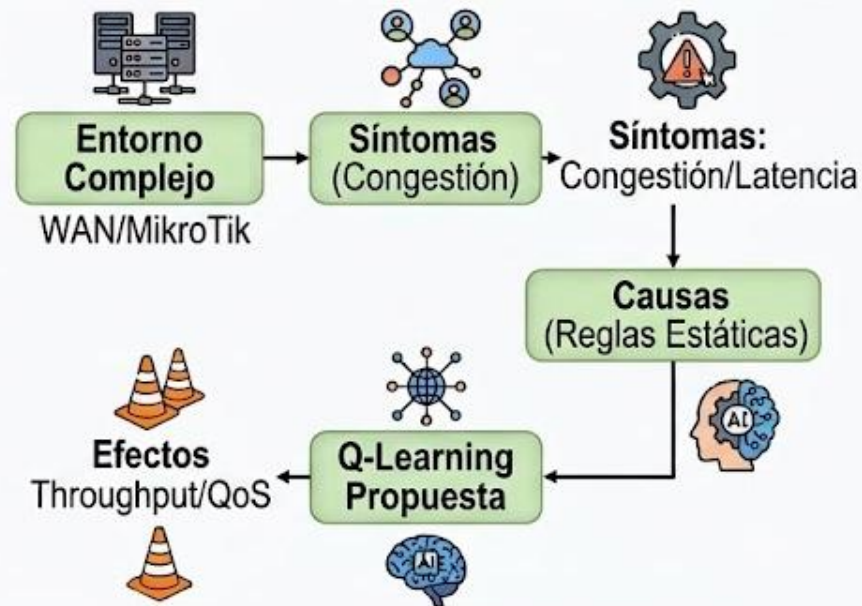
- Uso Manual/Estático



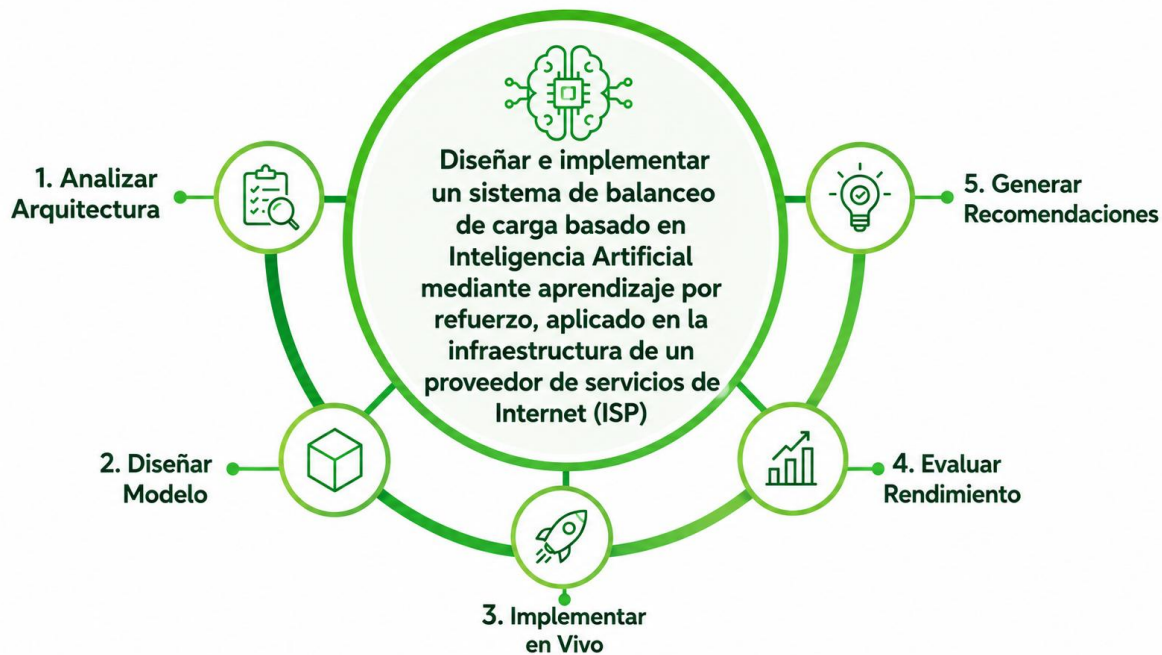
La Idea (Propuesta Q-Learning)

- Optimización Dinámica
- Agilidad en procesos

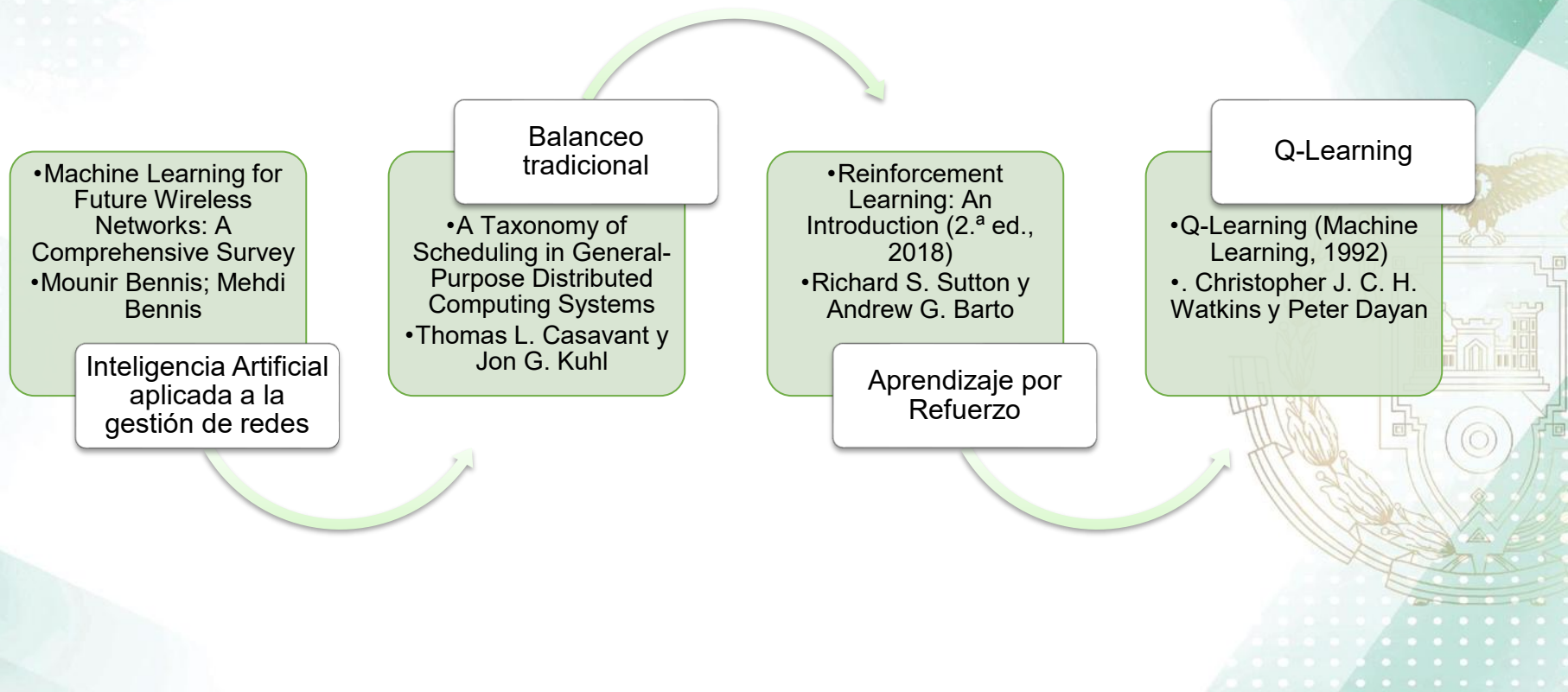
Planteamiento del problema



Objetivos



Trabajos relacionados



Indicadores de desempeño de la red



THROUGHPUT

Cantidad de datos transmitidos por segundo.

Mayor es mejor Unidad: Mbps



LATENCIA

Tiempo que tarda un paquete en llegar al destino.

Menor es mejor Unidad: ms



PÉRDIDA DE PAQUETES

Porcentaje de paquetes que no llegan al destino.

Ideal: 0 % Unidad: %



JITTER

Variación del tiempo de llegada de los paquetes.

Menor es mejor Unidad: ms



TRACEROUTE

Muestra la ruta y los saltos que siguen los paquetes.

Verifica estabilidad del camino



USO DE RECURSOS

CPU, memoria y almacenamiento del router.

Evalúa el impacto del sistema en el equipo



Metodología

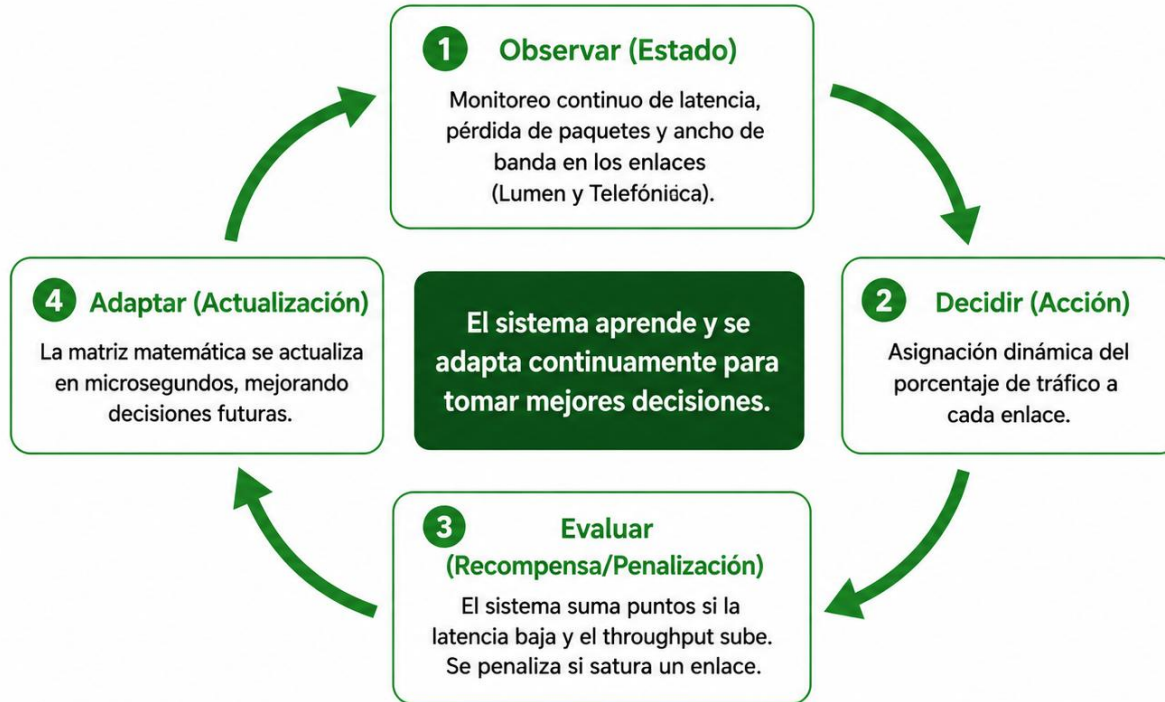
Relación con la metodología CRISP-DM



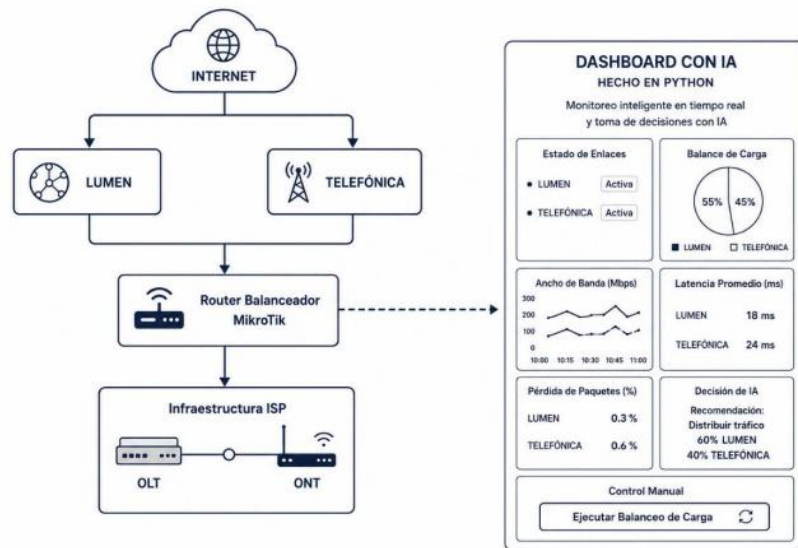
Procedimiento Metodológico



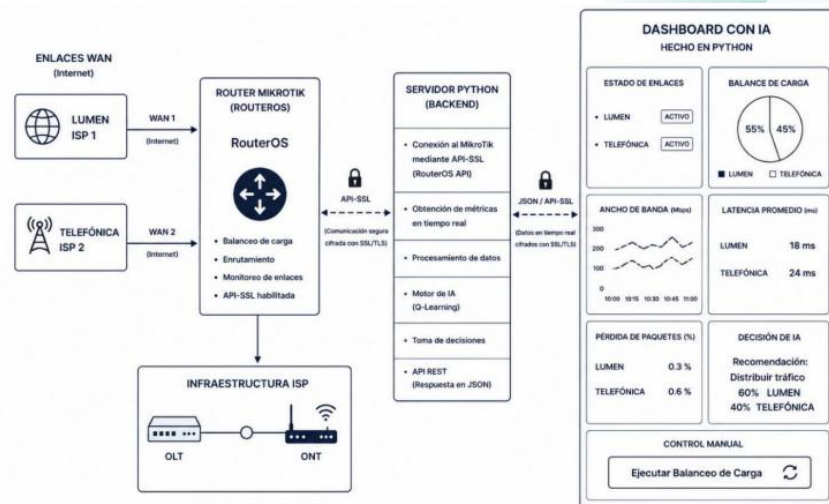
Ciclo de Aprendizaje por Refuerzo (Q-Learning)



Arquitectura general del sistema de balanceo de carga basado en inteligencia artificial para redes ISP



Arquitectura del sistema inteligente de balanceo de carga basado en IA



Nota. Elaboración propia

Fórmulas y Episodios

Ecuación de actualización	$Q(s', a) = Q(s, a) + \alpha[r + \gamma \max_{a'} Q(s', a') - Q(s, a)]$
Ecuación para la normalización de la latencia	$L_n = \min\left(\frac{L_1 + L_2}{2}, L_{max}\right)$
Ecuación para la normalización de la pérdida de paquetes	$P_n = \min\left(\frac{P_1 + P_2}{2}, 1\right)$
Ecuación del índice de desequilibrio de carga	$I = \frac{ L_1 - L_2 }{L_1 + L_2}$
Ecuación para el cálculo de throughput	$TX_{bps} = \frac{\Delta TX \times 8}{\Delta t}$
Ecuación de la recompensa total	$R = W_{BALANCE} \cdot R_{balance} - W_{LATENCY} \cdot L_n - W_{LOSS} \cdot P_n - Penalty$

Episodio	Acción Seleccionada	Recompensa	Epsilon (ε)
1593	only_isp1	0.9418	0.05
2288	prefer_isp1	0.9358	0.05
2593	prefer_isp1	0.9743	0.05
2639	only_isp1	0.9549	0.05
2961	prefer_isp1	0.9184	0.05
3532	prefer_isp1	0.95	0.05
4309	prefer_isp1	0.7975	0.05
4926	prefer_isp1	0.5634	0.05
7269	prefer_isp1	0.7732	0.05
10759	prefer_isp2	0.9221	0.05

Video



Comparación del Método tradicional vs Inteligencia artificial

Prueba	Indicador principal	Tradicional	IA
Throughput	LUMEN / TELEFÓNICA (Mbps)	460.185 / 1.044	265.935 / 196.590
Latencia	Promedio / Máxima (ms)	64 / 71	64 / 66
Pérdida de paquetes	Pérdida (%)	0	0
Traceroute	Salto / Latencia destino (ms)	10 / 64.3	10 / 64.4
Jitter	Variación (ms)	0	0
Recursos del router	CPU / Memoria libre (GiB)	1 % / 14.9	0 % / 15.2

Concepto	Método Tradicional (USD/mes)	Sistema con IA (USD/mes)
Monitoreo y supervisión de enlaces WAN	220	80
Diagnóstico y análisis de incidentes	180	90
Configuración y ajuste del balanceo de carga	150	50
Atención de eventos de congestión	180	80
Costo operativo mensual estimado	730	300

Conclusiones

1

Se optimizó la distribución del tráfico, reduciendo el throughput de LUMEN de 460.185 Mbps a 265.935 Mbps y aumentando el de TELEFÓNICA de 1.044 Mbps a 196.59 Mbps, logrando un uso más equilibrado de los enlaces WAN.

2

El agente Q-Learning evaluó continuamente métricas de la red (latencia, throughput, pérdida de paquetes y utilización de enlaces) para seleccionar automáticamente la política de balanceo más adecuada.

3

La implementación sobre MikroTik CCR1072-1G-8S+ fue exitosa, sin afectar el rendimiento del equipo, demostrando su viabilidad en un entorno ISP real.

4

El sistema basado en IA mejoró el desempeño de la red, manteniendo 0 % de pérdida de paquetes, reduciendo la latencia máxima de 71 ms a 66 ms y recuperando la conectividad en 2–3 segundos ante fallos.

5

La solución redujo aproximadamente un 57 % los costos operativos, pasando de USD 500 a USD 215 mensuales, además de disminuir la intervención manual en la administración de la red.



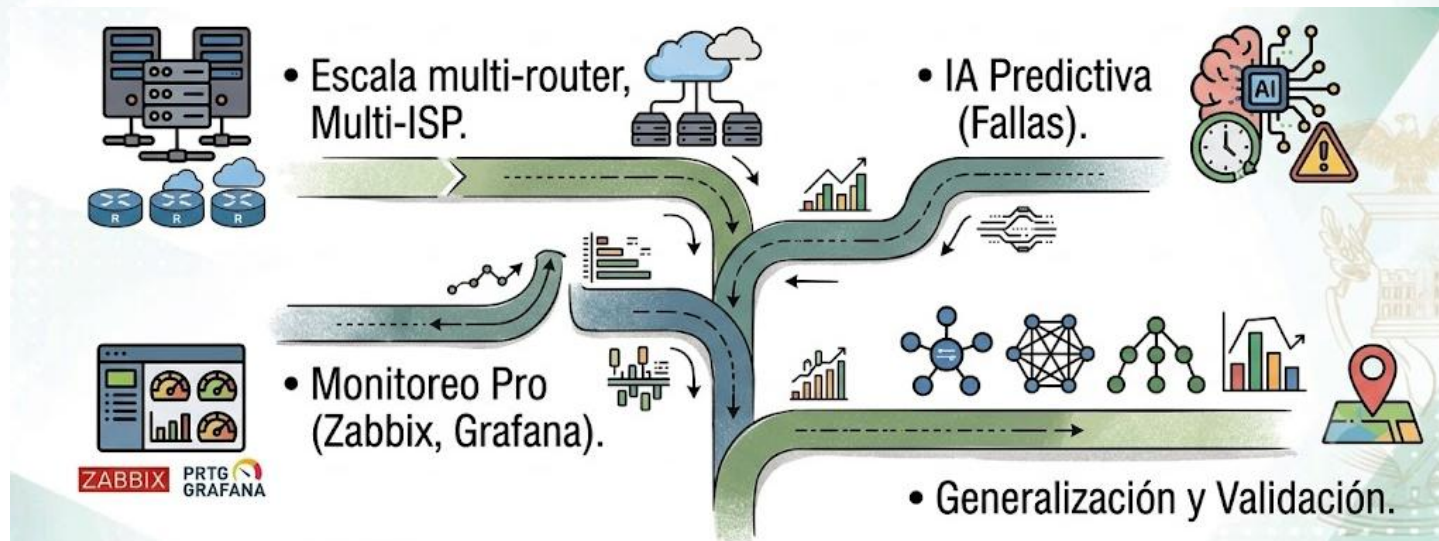
Recomendaciones

Implementar soluciones
basadas en Inteligencia
Artificial.

Incorporar técnicas de
aprendizaje por refuerzo
en la administración de
redes ISP.

Adoptar tecnologías
inteligentes en
infraestructuras de
telecomunicaciones.

Trabajos Futuros



Gracias por su atención

