

# Proyecto de grado: Routers Reconfigurables de Altas Prestaciones

Rodrigo Amaro, Emiliano Viotti

Instituto de Computación  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República

Tutores: Dr. Eduardo Grampín, MSc. Martín Giachino

16 de agosto de 2015

# Agenda

- 1 Motivación
- 2 Definición del problema
- 3 Conceptos preliminares
- 4 Arquitectura propuesta
- 5 Implementación
- 6 Experimentación
- 7 Conclusiones
- 8 Trabajo a futuro

# 1 Motivación

2 Definición del problema

3 Conceptos preliminares

4 Arquitectura propuesta

5 Implementación

6 Experimentación

7 Conclusiones

8 Trabajo a futuro

# Motivación

## Redes académicas

Internet no parece apropiada para su utilización en el contexto académico en el desarrollo de nuevos protocolos y servicios, investigación y la innovación en el área.



# Motivación

## Red Académica Uruguaya (RAU)

A nivel local, la RAU es un emprendimiento de la Universidad de la República administrado por el SeCIU con los objetivos de unir a las instituciones académicas nacionales en una red de alcance nacional y a través de ella conectarlas a Latinoamérica.

## RAU2

Remplazo de la actual red académica, es una red avanzada de altas prestaciones que estaría dotada de funciones de virtualización de redes flexibles en su definición y uso.



## Hardware comercial

Los equipos de red de backbone comerciales como HP, CISCO, Juniper son costos y generalmente de naturaleza cerrada. Las funcionalidades del hardware se restringen a las funcionalidades expuesta por una API propietaria.



1 Motivación

2 Definición del problema

3 Conceptos preliminares

4 Arquitectura propuesta

5 Implementación

6 Experimentación

7 Conclusiones

8 Trabajo a futuro

## Definición del Problema

Construir un prototipo para la RAU2 utilizando como plataforma PCs con placas de red aceleradas en hardware reconfigurable NetFPGA y el enfoque de las Redes Definidas por Software (SDN).

# Definición del problema

## Definición del Problema

Construir un prototipo para la RAU2 utilizando como plataforma PCs con placas de red aceleradas en hardware reconfigurable NetFPGA y el enfoque de las Redes Definidas por Software (SDN).

## Resultados esperados

- Estado del arte en Redes Definidas por Software y hardware NetFPGA

# Definición del problema

## Definición del Problema

Construir un prototipo para la RAU2 utilizando como plataforma PCs con placas de red aceleradas en hardware reconfigurable NetFPGA y el enfoque de las Redes Definidas por Software (SDN).

## Resultados esperados

- Estado del arte en Redes Definidas por Software y hardware NetFPGA
- Prototipo de aplicación de gestión de red utilizando SDN y el hardware NetFPGA enfocado en los requerimientos recabados sobre la RAU2

# Definición del problema

## Definición del Problema

Construir un prototipo para la RAU2 utilizando como plataforma PCs con placas de red aceleradas en hardware reconfigurable NetFPGA y el enfoque de las Redes Definidas por Software (SDN).

## Resultados esperados

- Estado del arte en Redes Definidas por Software y hardware NetFPGA
- Prototipo de aplicación de gestión de red utilizando SDN y el hardware NetFPGA enfocado en los requerimientos recabados sobre la RAU2
- Diseño e implementación de pruebas de verificación para el prototipo construido

# Definición del problema

Que características se esperan del prototipo, ¿cuales son los requerimientos?

# Definición del problema

Que características se esperan del prototipo, ¿cuales son los requerimientos?

R: Veamos cuales son los posibles requerimientos de la RAU2

# Definición del problema

Que características se esperan del prototipo, ¿cuales son los requerimientos?

R: Veamos cuales son los posibles requerimientos de la RAU2

## Requerimientos

- ① Clasificación y separación de tráfico según categorías

# Definición del problema

Que características se esperan del prototipo, ¿cuales son los requerimientos?

R: Veamos cuales son los posibles requerimientos de la RAU2

## Requerimientos

- ① Clasificación y separación de tráfico según categorías
- ② Manejo de grandes volúmenes de datos

# Definición del problema

Que características se esperan del prototipo, ¿cuales son los requerimientos?

R: Veamos cuales son los posibles requerimientos de la RAU2

## Requerimientos

- ① Clasificación y separación de tráfico según categorías
- ② Manejo de grandes volúmenes de datos
- ③ Escalabilidad

# Definición del problema

Que características se esperan del prototipo, ¿cuales son los requerimientos?

R: Veamos cuales son los posibles requerimientos de la RAU2

## Requerimientos

- ① Clasificación y separación de tráfico según categorías
- ② Manejo de grandes volúmenes de datos
- ③ Escalabilidad
- ④ Red de entrega de contenidos

# Definición del problema

Que características se esperan del prototipo, ¿cuales son los requerimientos?

R: Veamos cuales son los posibles requerimientos de la RAU2

## Requerimientos

- ① Clasificación y separación de tráfico según categorías
- ② Manejo de grandes volúmenes de datos
- ③ Escalabilidad
- ④ Red de entrega de contenidos

# Definición del problema

Que características se esperan del prototipo, ¿cuales son los requerimientos?

R: Veamos cuales son los posibles requerimientos de la RAU2

## Requerimientos

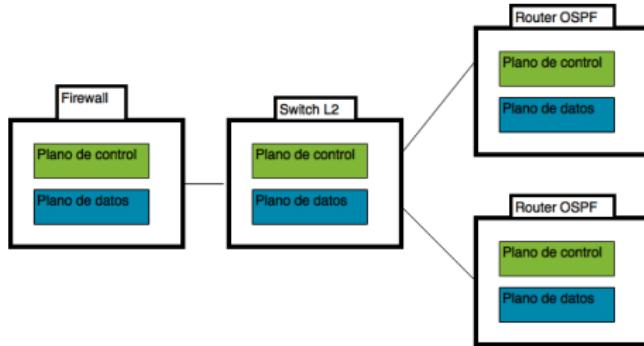
- ① Clasificación y separación de tráfico según categorías
- ② Manejo de grandes volúmenes de datos
- ③ Escalabilidad
- ④ Red de entrega de contenidos

Problema demasiado grande!

(Ver como hacer para que al final dejar todo en gris y remarcar solo el requerimiento 1)

- 1 Motivación
- 2 Definición del problema
- 3 Conceptos preliminares
- 4 Arquitectura propuesta
- 5 Implementación
- 6 Experimentación
- 7 Conclusiones
- 8 Trabajo a futuro

# Enfoque tradicional de redes



## Plano de control

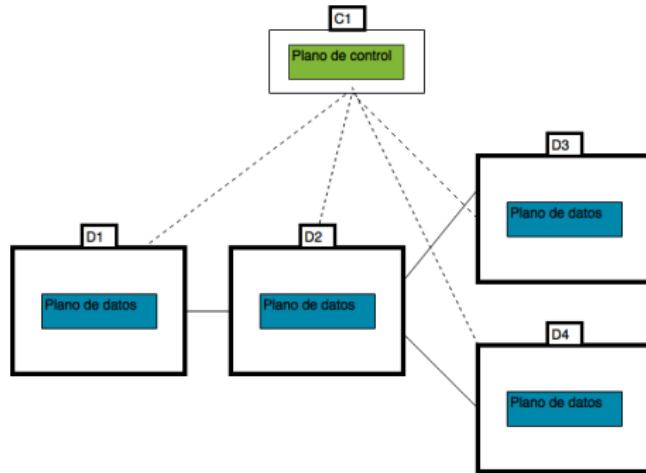
Es donde reside la inteligencia de la red, es la logica que controla el comportamiento de reenvio. Ejs : OSPF, RIP, Firewalls

## Plano de datos

Se encarga de reenviar el trafico conforme a el plano de control Ejs : Reenvio IP

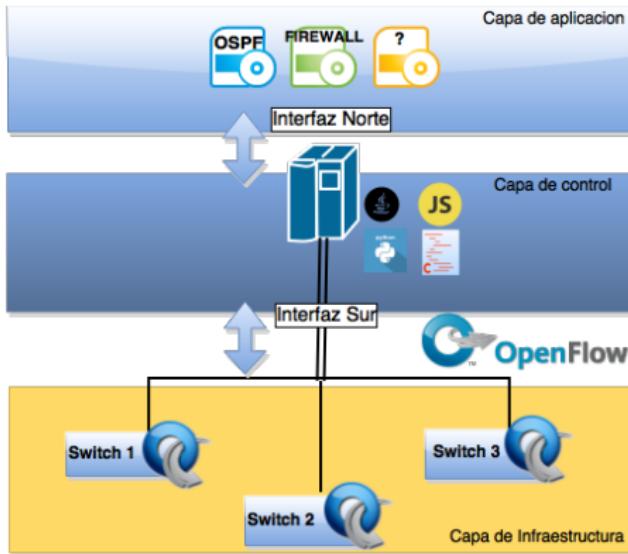
## Definicion

La separación física del plano de control de la red del plano de datos, donde el plano de control controla varios dispositivos.



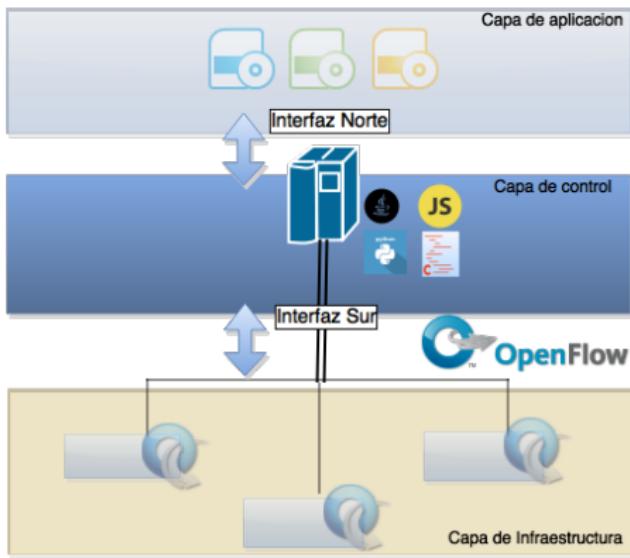
Escribir algo mas, algun ejemplo. o que ultimamente esta de moda

# OpenFlow



- Solucion basada en el enfoque SDN
- Define tres grandes capas: Capa de aplicaciones: Permite programar el control de la red a partir de las primitivas proporcionadas por el controlador a partir de la interfaz norte

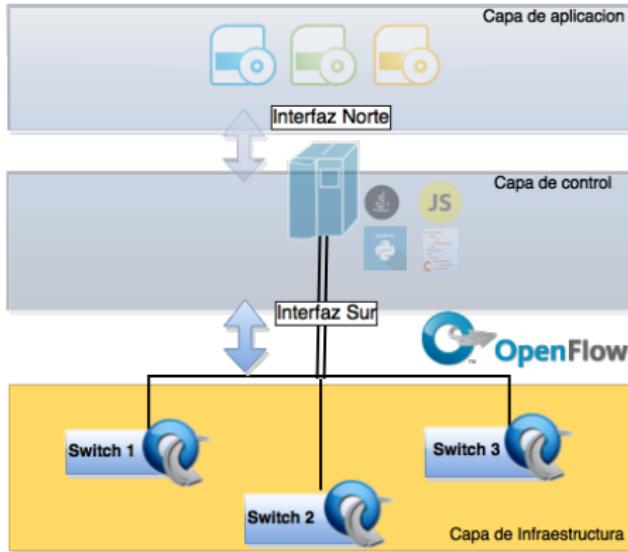
# OpenFlow



## Capa de control

- Software que ejecuta en hardware x86 (PC, Servidor)
- Ofrece una api de alto nivel a los programadores (NorthBound) para controlar la red.
- Cada operación ofrecida por la api es traducida a reglas openflow y comunicadas por el canal openflow (SouthBound) hacia el dispositivo.

# OpenFlow



**Capa de dispositivos:**  
Dispositivo openflow-capable(Canal Openflow, Tablas)  
Canal openflow  
Tabla en un dispositivo

# VPN (Red privada virtual)

Extensión de una red privada sobre la infraestructura de una red pública.



Existen varias formas de implementar una VPN. Las podemos diferenciar por:

A partir de que capa virtualizan la red. Ejs:

- L2
- L3

Que tecnologia utilizan para virtualizar Ejs:

- ATM-Frame Relay
- IP-MPLS

# MPLS

MPLS (Multilabel Protocol Switching) es la solución de facto para la implementación de servicios de VPN L2 y L3. Permite transportar tráfico mediante la conmutación de etiquetas.

MPLS (Multilabel Protocol Switching) es la solución de facto para la implementación de servicios de VPN L2 y L3. Permite transportar tráfico mediante la conmutación de etiquetas.

Arquitectura:

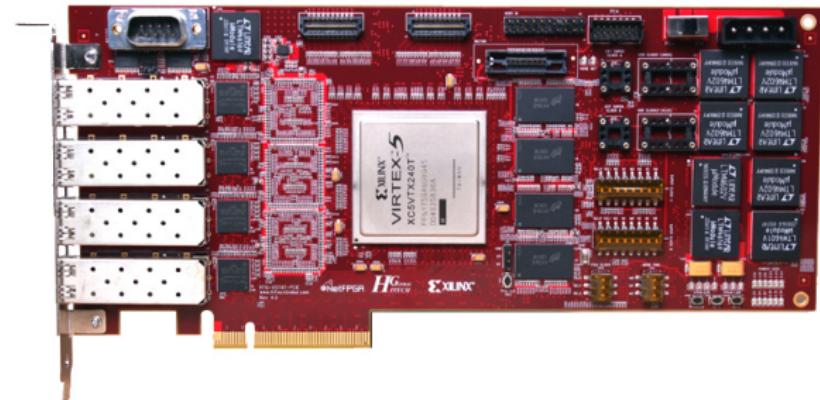
- Label: Etiqueta MPLS (20bits)
- Acción: Pop, Push y Swap
- LSP: Camino de conmutación de etiquetas
- FEC: Clase de equivalencia de tráfico
- LDP: Protocolo de distribución de etiquetas

# NetFPGA

Plataforma de hardware de red reconfigurable y software OpenSource.

Hardware: Placa PCI-E que cuenta con:

- ① Chip programable FPGA
- ② 15 GB RAM
- ③ 4 Puertos 10-Gigabit Ethernet



## Software

Proyectos de software Open Source que permiten programar comportamientos en el hardware. Dos tipos de proyectos: Referencia y Comunitarios

| Proyecto <sup>1</sup> | Organización                                |
|-----------------------|---|
| Production Test       | Stanford University                         |
| Learning CAM Switch   | Stanford University/University of Cambridge |
| Reference NIC 10G     | Stanford University/University of Cambridge |
| Reference Router      | Stanford University/University of Cambridge |
| OpenFlow Switch       | Stanford University                         |

<sup>1</sup> Proyectos NetFPGA extraídos de <http://netfpga.org/site/#/systems/3netfpga-10g/applications/>

- 1 Motivación
- 2 Definición del problema
- 3 Conceptos preliminares
- 4 Arquitectura propuesta
- 5 Implementación
- 6 Experimentación
- 7 Conclusiones
- 8 Trabajo a futuro

# Arquitectura propuesta

- ¿Cómo implementamos clasificación de tráfico y separamos en categorías?

# Arquitectura propuesta

- ¿Cómo implementamos clasificación de tráfico y separamos en categorías?

R: Construyendo Redes Privadas Virtuales (VPNs)

# Arquitectura propuesta

- ¿Cómo implementamos clasificación de tráfico y separamos en categorías?

R: Construyendo Redes Privadas Virtuales (VPNs)

- ¿Cómo implementamos Redes Privadas Virtuales?

# Arquitectura propuesta

- ¿Cómo implementamos clasificación de tráfico y separamos en categorías?

R: Construyendo Redes Privadas Virtuales (VPNs)

- ¿Cómo implementamos Redes Privadas Virtuales?

R: Utilizando MPLS (Multilabel Protocol Switch)

# Arquitectura propuesta

- ¿Cómo implementamos clasificación de tráfico y separamos en categorías?

R: Construyendo Redes Privadas Virtuales (VPNs)

- ¿Cómo implementamos Redes Privadas Virtuales?

R: Utilizando MPLS (Multilabel Protocol Switch)

- ¿VPNs con MPLS en SDN?

# Arquitectura propuesta

- ¿Cómo implementamos clasificación de tráfico y separamos en categorías?

R: Construyendo Redes Privadas Virtuales (VPNs)

- ¿Cómo implementamos Redes Privadas Virtuales?

R: Utilizando MPLS (Multilabel Protocol Switch)

- ¿VPNs con MPLS en SDN?

R: OpenFlow!

# Arquitectura propuesta

Utilizamos OpenFlow porque:

- ① Es una implementación estándar y estable del enfoque SDN

Utilizamos OpenFlow porque:

- ① Es una implementación estándar y estable del enfoque SDN
- ② Adopción de fabricantes de hardware de red

Utilizamos OpenFlow porque:

- ① Es una implementación estándar y estable del enfoque SDN
- ② Adopción de fabricantes de hardware de red
- ③ Gran variedad de software compatible

Utilizamos OpenFlow porque:

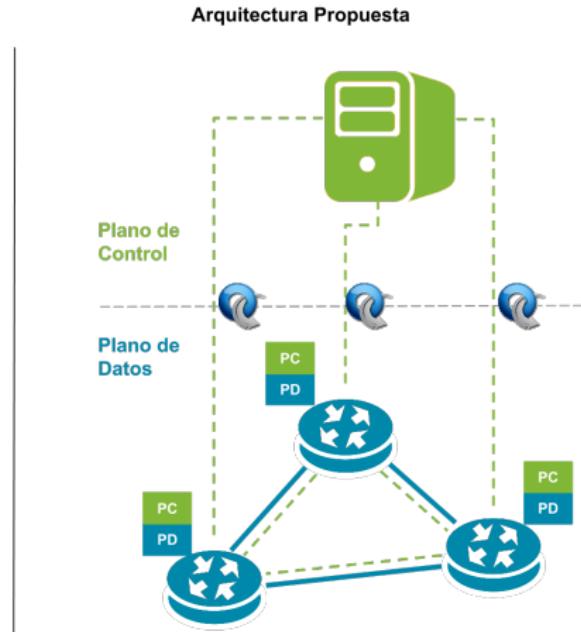
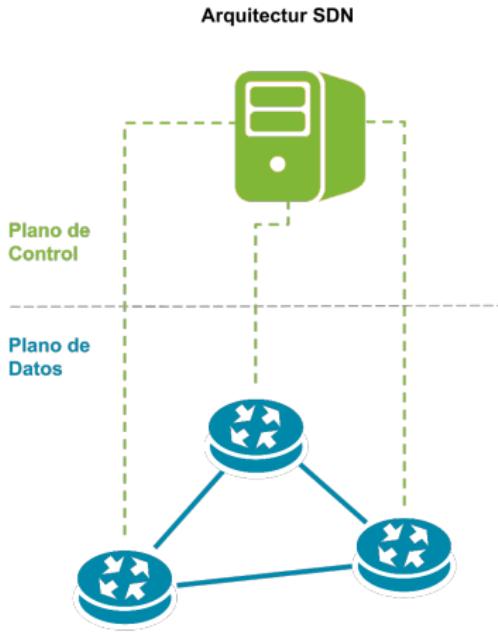
- ① Es una implementación estándar y estable del enfoque SDN
- ② Adopción de fabricantes de hardware de red
- ③ Gran variedad de software compatible
- ④ Esta implementada bajo la filosofía Open Source

Utilizamos OpenFlow porque:

- ① Es una implementación estándar y estable del enfoque SDN
- ② Adopción de fabricantes de hardware de red
- ③ Gran variedad de software compatible
- ④ Esta implementada bajo la filosofía Open Source
- ⑤ OpenFlow incorpora soporte para MPLS desde la versión 1.3.1 del protocolo

# Arquitectura propuesta

Se propone una arquitectura híbrida que combina el enfoque SDN con tecnologías actuales, basándose en la implementación de OpenFlow.



## Construir un switch OpenFlow

Se identifican dos alternativas utilizando hardware NetFPGA:

## Construir un switch OpenFlow

Se identifican dos alternativas utilizando hardware NetFPGA:

- ① Proyecto OpenFlow

## Construir un switch OpenFlow

Se identifican dos alternativas utilizando hardware NetFPGA:

- ① Proyecto OpenFlow
- ② Proyecto ReferenceNIC más implementación OF en software (Open vSwitch)

## Construir un switch OpenFlow

Se identifican dos alternativas utilizando hardware NetFPGA:

- ① Proyecto OpenFlow
- ② Proyecto ReferenceNIC más implementación OF en software (Open vSwitch)

| (1) OpenFlow               | (2) ReferenceNIC y OvS          |
|----------------------------|---------------------------------|
| Velocidad de procesamiento | Prototipación agil              |
| Utilización del hardware   | Tiempo libre para investigación |
| Conocimiento específico    | No hay que utilizar HDLs        |
| Licencias full             | Licencias económicas            |

## Construir un switch OpenFlow

Se identifican dos alternativas utilizando hardware NetFPGA:

- ① Proyecto OpenFlow
- ② Proyecto ReferenceNIC más implementación OF en software (Open vSwitch)

| (1) OpenFlow               | (2) ReferenceNIC y OvS          |
|----------------------------|---------------------------------|
| Velocidad de procesamiento | Prototipación agil              |
| Utilización del hardware   | Tiempo libre para investigación |
| Conocimiento específico    | No hay que utilizar HDLs        |
| Licencias full             | Licencias económicas            |

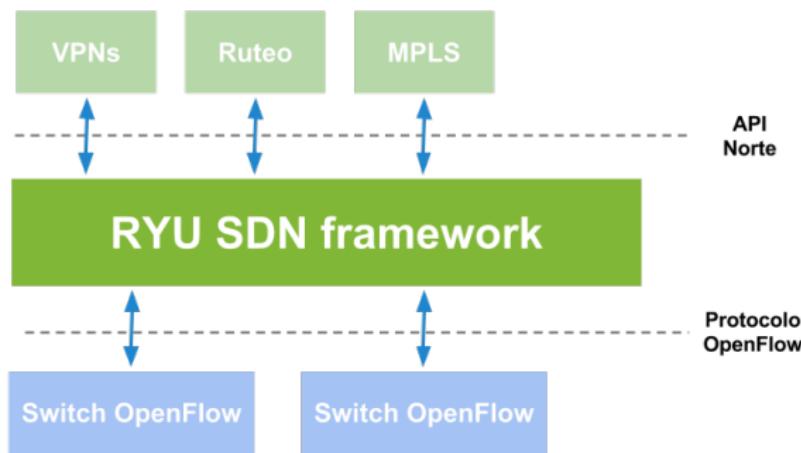
## (2) ReferenceNIC y OvS!

# Arquitectura de la solución

## Controlador

Utilizamos Ryu como software de control SDN

- Compatible con OF hasta v1.4
- Académico, sencillo, liviano
- Libre y Open Source



## Algoritmo de ruteo

- Calculo de rutas en base a IP
- Utilizamos OSPF para la construcción de una base de datos topológica (LSDB)
- Cada nodo en la red incluyendo el controlador ejecutan un demonio OSPF de la herramienta Quagga
- Algoritmo de ruteo como App SDN en el controlador, toma información de la LSDB

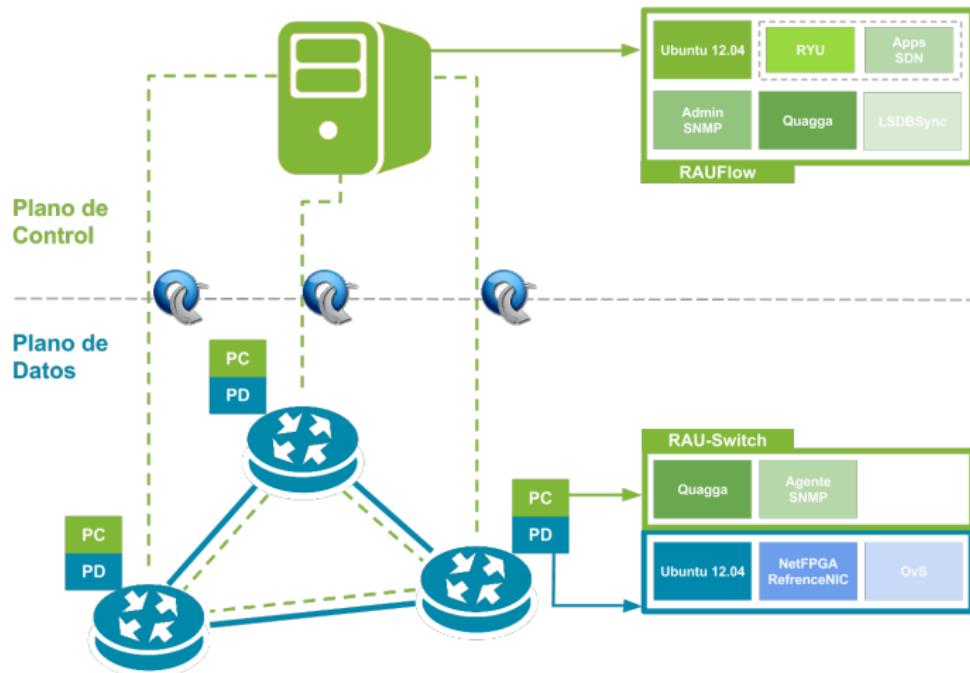
## Agente SNMP

OpenFlow no prevé un mecanismo para informar al plano de control direccionamiento IP de un puerto en un dispositivo.

**Solución:** Utilizamos un agente SNMP en cada nodo de la red para obtener mapeo entre puertos OF y direcciones IP

# Arquitectura de la solución

## Arquitectura propuesta



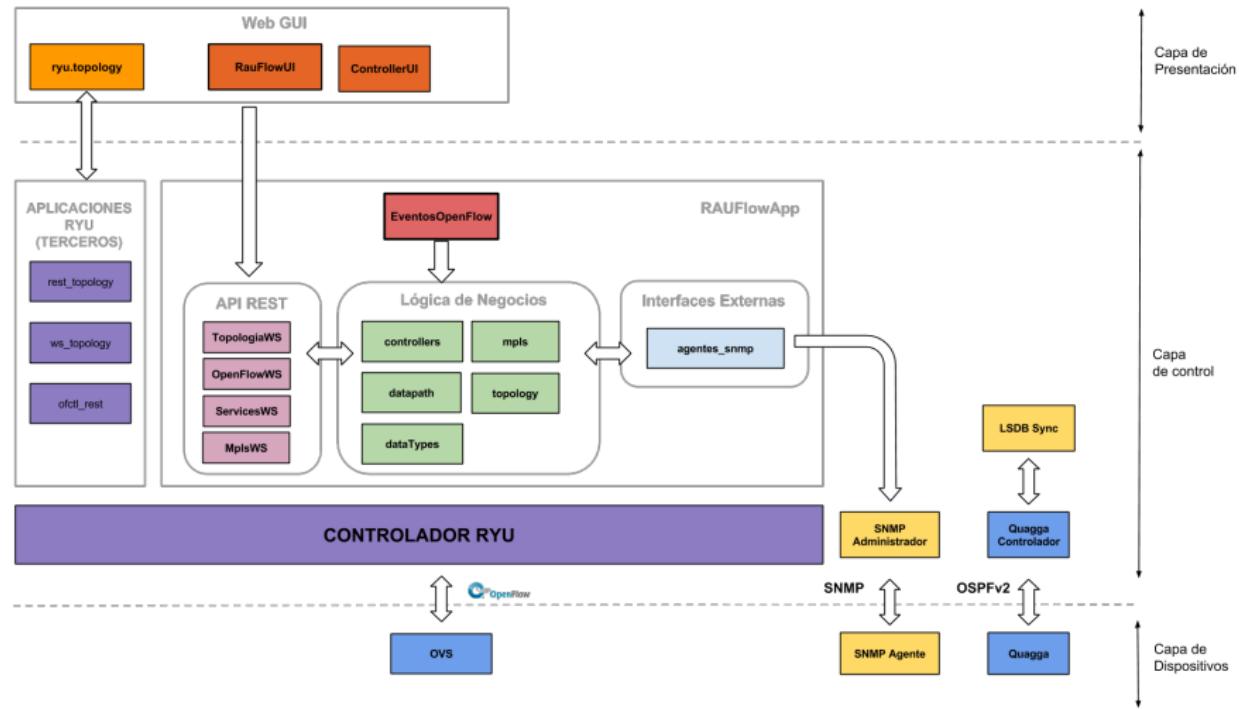
- 1 Motivación
- 2 Definición del problema
- 3 Conceptos preliminares
- 4 Arquitectura propuesta
- 5 Implementación
- 6 Experimentación
- 7 Conclusiones
- 8 Trabajo a futuro

# Implementación

Se implementaron dos componentes:

- ① RAU-Switch: Dispositivo de red compatible con el protocolo OpenFlow
- ② RAUFlow: Conjunto de aplicaciones de gestión de redes, implementan plano de control en el prototipo

# Implementación



1 Motivación

2 Definición del problema

3 Conceptos preliminares

4 Arquitectura propuesta

5 Implementación

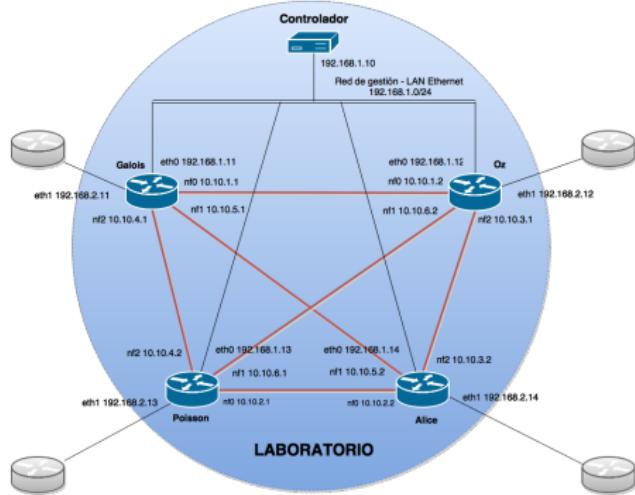
6 Experimentación

7 Conclusiones

8 Trabajo a futuro

# Experimentación

Se construye un laboratorio de experimentación compuesto por 4 nodos RAU-Switch conectados mediante enlaces ópticos de alta velocidad en una topología full Mesh.



# Experimentación

Mediante la definición de servicios en la aplicación RAUFlow, se configuran dos tipos de redes privadas:

- ① VPN L3 multipunto
- ② VPN L2 punto a punto

## VPN L3:

Se configuran dos escenarios:

- ① Una organización con tres sucursales físicamente separadas
- ② Dos organizaciones con dos sucursales físicamente separadas cada una

Las principales características de la implementación son:

- Reducción del MTU en 64bits (2 cabezales MPLS)
- Clasificación de tráfico basada en campos del cabezal OpenFlow
- Aislamiento del espacio de direcciones IP

# Experimentación

## VPN L2:

Se configuran un único escenario: Una organización con dos sucursales físicamente separadas.

Las principales características de la implementación son:

- Reducción del MTU en 64bits (2 cabezales MPLS)
- Soporte para un conjunto de 43 ethertypes diferentes
- Se probó diferentes protocolos como ARP, IPv4 IPv6 e IP con tags de VLAN

- 1 Motivación
- 2 Definición del problema
- 3 Conceptos preliminares
- 4 Arquitectura propuesta
- 5 Implementación
- 6 Experimentación
- 7 Conclusiones
- 8 Trabajo a futuro

# Conclusiones

- Se realizó una investigación en profundidad del estado del arte de las redes definidas por software (SDN) y la plataforma de hardware NetFPGA.

# Conclusiones

Se implementó un prototipo de red de backbone utilizando el hardware NetFPGA y el enfoque SDN:

# Conclusiones

Se implementó un prototipo de red de backbone utilizando el hardware NetFPGA y el enfoque SDN:

- **RAUswitch** Se construyó un router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA

# Conclusiones

Se implementó un prototipo de red de backbone utilizando el hardware NetFPGA y el enfoque SDN:

- **RAUswitch** Se construyó un router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA
- **RAUflow** Se implementó una aplicación de gestión de red utilizando el enfoque SDN con funcionalidades para la definición de redes privadas virtuales

# Conclusiones

Se implementó un prototipo de red de backbone utilizando el hardware NetFPGA y el enfoque SDN:

- **RAUswitch** Se construyó un router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA
- **RAUflow** Se implementó una aplicación de gestión de red utilizando el enfoque SDN con funcionalidades para la definición de redes privadas virtuales
  - Redefinición del concepto de FEC

# Conclusiones

Se implementó un prototipo de red de backbone utilizando el hardware NetFPGA y el enfoque SDN:

- **RAUswitch** Se construyó un router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA
- **RAUflow** Se implementó una aplicación de gestión de red utilizando el enfoque SDN con funcionalidades para la definición de redes privadas virtuales
  - Redefinición del concepto de FEC
  - Clasificación de tráfico mediante protocolo OpenFlow 1.3.1

# Conclusiones

Se implementó un prototipo de red de backbone utilizando el hardware NetFPGA y el enfoque SDN:

- **RAUswitch** Se construyó un router de backbone IP/MPLS compatible con el protocolo OpenFlow y OSPF utilizando el hardware NetFPGA
- **RAUflow** Se implementó una aplicación de gestión de red utilizando el enfoque SDN con funcionalidades para la definición de redes privadas virtuales
  - Redefinición del concepto de FEC
  - Clasificación de tráfico mediante protocolo OpenFlow 1.3.1
  - Algoritmo de ruteo dinámico SPF centralizado

# Conclusiones

Se construyó un laboratorio de pruebas para la verificación del prototipo:

# Conclusiones

Se construyó un laboratorio de pruebas para la verificación del prototipo:

- Se ejecutaron pruebas funcionales

# Conclusiones

Se construyó un laboratorio de pruebas para la verificación del prototipo:

- Se ejecutaron pruebas funcionales
- Se implementaron dos casos de uso:

# Conclusiones

Se construyó un laboratorio de pruebas para la verificación del prototipo:

- Se ejecutaron pruebas funcionales
- Se implementaron dos casos de uso:
  - VPN L3 multipunto

# Conclusiones

Se construyó un laboratorio de pruebas para la verificación del prototipo:

- Se ejecutaron pruebas funcionales
- Se implementaron dos casos de uso:
  - VPN L3 multipunto
  - VPN L2 punto a punto

# Conclusiones

- Se confeccionó un manual para la construcción del dispositivo RAUswitch

# Conclusiones

- Se confeccionó un manual para la construcción del dispositivo RAUswitch
- Se contribuyó a la comunidad NetFPGA reportando dos BUGs

# Conclusiones

- Se confeccionó un manual para la construcción del dispositivo RAUswitch
- Se contribuyó a la comunidad NetFPGA reportando dos BUGs
- Se escribió un artículo científico el cual fue aceptado en la conferencia Latin American Network Operations and Management Symposium (LANOMS) 2015

# Conclusiones

- Se confeccionó un manual para la construcción del dispositivo RAUswitch
- Se contribuyó a la comunidad NetFPGA reportando dos BUGs
- Se escribió un artículo científico el cual fue aceptado en la conferencia Latin American Network Operations and Management Symposium (LANOMS) 2015
- Se generó un grupo de trabajo (GT SDNUY) uniendo profesionales del SeCIU, Centro de Capacitación y Desarrollo de ANTEL y del Centro Universitario de la Región Este (CURE)

1 Motivación

2 Definición del problema

3 Conceptos preliminares

4 Arquitectura propuesta

5 Implementación

6 Experimentación

7 Conclusiones

8 Trabajo a futuro

# Trabajo a futuro

Se identifican las siguientes líneas de trabajo a futuro:

# Trabajo a futuro

Se identifican las siguientes líneas de trabajo a futuro:

- Extender el proyecto OpenFlow de la plataforma NetFPGA para soportar al menos la versión 1.3.1 del protocolo OpenFlow

# Trabajo a futuro

Se identifican las siguientes líneas de trabajo a futuro:

- Extender el proyecto OpenFlow de la plataforma NetFPGA para soportar al menos la versión 1.3.1 del protocolo OpenFlow
- Extender el algoritmo de ruteo SPF para implementar un CSPF

# Trabajo a futuro

Se identifican las siguientes líneas de trabajo a futuro:

- Extender el proyecto OpenFlow de la plataforma NetFPGA para soportar al menos la versión 1.3.1 del protocolo OpenFlow
- Extender el algoritmo de ruteo SPF para implementar un CSPF
- Incorporar en RAUFlow la capacidad de soportar múltiples caminos para un mismo Servicio, balanceo de carga, QoS e Ingeniería de tráfico

# Trabajo a futuro

Otras posibles líneas:

# Trabajo a futuro

Otras posibles líneas:

- Agregar una capa de persistencia para ciertos datos

# Trabajo a futuro

Otras posibles líneas:

- Agregar una capa de persistencia para ciertos datos
- Investigar la escalabilidad de RAUflow en topologías de red realistas

# Trabajo a futuro

Otras posibles líneas:

- Agregar una capa de persistencia para ciertos datos
- Investigar la escalabilidad de RAUflow en topologías de red realistas
- Construir una jerarquía de controladores e investigar el impacto en el rendimiento

Otras posibles líneas:

- Agregar una capa de persistencia para ciertos datos
- Investigar la escalabilidad de RAUflow en topologías de red realistas
- Construir una jerarquía de controladores e investigar el impacto en el rendimiento
- Incorporar más dimensiones a la definición de un servicio (tiempo)

# ¿Preguntas?