



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i2.2793>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

*La administración y configuración en equipos de redes, enfoque de
programabilidad basada en modelos YANG*

*Administration and configuration in network equipment, programmability
approach based on YANG models*

*Administração e configuração em equipamentos de rede, abordagem de
programabilidade baseada em modelos YANG*

Juan Pablo Cuenca-Tapia ^I

jcuenca@ucacue.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5982-634X>

Andrés Sebastián Quevedo-Sacoto ^{II}

asquevedos@ucacue.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5585-0270>

Correspondencia: jcuenca@ucacue.edu.ec

***Recibido:** 19 de marzo del 2022 ***Aceptado:** 29 de abril de 2022 *** Publicado:** 31 de mayo de 2022

- I. Estudiante de la Maestría en Tecnologías de la Información, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- II. Docente investigador, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador

Resumen

En la administración y configuración de red tradicionalmente se utilizan métodos que causan inconvenientes al momento de crecimiento de las redes de datos, además, requieren el aprendizaje según el proveedor de los dispositivos. En este estudio se busca identificar las características que permiten a las redes realizar una gestión estándar y escalable por medio de la programabilidad basada en modelos Yet Another Next Generation (YANG)1.

En primer lugar, se lleva a cabo una investigación exploratoria para conocer las temáticas de administración y configuración de red en los métodos tradicionales. A continuación, se muestra los conceptos y la aplicación de programabilidad con el uso de modelos YANG en un dispositivo en ambiente de pruebas por medio de virtualización.

Los resultados de las pruebas muestran la flexibilidad y facilidad con la que se puede configurar y la gestión de configuraciones en dispositivos que soporte modelos de programabilidad YANG. Esto constituye un soporte inicial que permite a los administradores tener un enfoque general de los requerimientos en las redes definidas por software para flexibilizar la configuración y administración de dispositivos de red.

Palabras clave: Redes definidas por software; programabilidad; plano de control; plano de datos; controladoras.

Abstract

Traditionally, network administration and configuration methods are used that cause inconveniences at the time of data network growth, in addition, they require learning according to the device provider. This study seeks to identify the characteristics that allow networks to carry out standard and scalable management through programmability based on YANG models.

First, exploratory research is carried out to understand the issues of network administration and configuration in traditional methods. Next, the concepts and the application of programmability with the use of YANG models in a device in a test environment through virtualization are shown.

Test results show the flexibility and ease with which configuration and configuration management can be configured on devices that support YANG programmability models. This is an initial support that allows administrators to have a general approach to the requirements in software-defined networks to make the configuration and management of network devices more flexible.

Keywords: Software defined networks; programmability; control plane; data plane; controllers.

Resumo

Tradicionalmente, são utilizados métodos de administração e configuração de rede que causam transtornos no momento do crescimento da rede de dados, além disso, exigem aprendizado de acordo com o provedor do dispositivo. Este estudo busca identificar as características que permitem que as redes realizem o gerenciamento padrão e escalável por meio da programabilidade baseada no modelo Yet Another Next Generation (YANG)1.

Primeiramente, é realizada uma pesquisa exploratória para entender as questões de administração e configuração de redes em métodos tradicionais. A seguir, são apresentados os conceitos e a aplicação da programabilidade com o uso de modelos YANG em um dispositivo em ambiente de teste por meio de virtualização.

Os resultados dos testes mostram a flexibilidade e a facilidade com que a configuração e o gerenciamento de configuração podem ser configurados em dispositivos que suportam os modelos de programação YANG. Este é um suporte inicial que permite aos administradores ter uma abordagem geral dos requisitos em redes definidas por software para flexibilizar a configuração e o gerenciamento dos dispositivos de rede.

Palavras-chave: Redes Definidas por Software; programabilidade; plano de controle; plano de dados; controladores.

Introducción

Una red de datos es creada con una gran cantidad de dispositivos de red, por ejemplo, routers, switches y muchos otros dispositivos que manipulan el tráfico, sobre estos implementando muchos protocolos complejos, la tarea de los administradores consiste en implementar políticas como configuraciones a través de comandos a pesar de las situaciones cambiantes de la red, necesitan realizar estas tareas muy complejas con acceso a herramientas muy limitadas. Como resultado, la administración de la red y el ajuste del rendimiento son bastante desafiantes y, por lo tanto, propensos a errores.

La programabilidad en las redes de computadores se ha propuesto como una forma de facilitar la evolución de la red. Es el caso de las redes definidas por software (SDN) el nuevo paradigma de redes en el que el hardware de reenvío está desacoplado de las decisiones de control. Este paradigma promete simplificar drásticamente la gestión de la red y permitir la innovación y la evolución (Nunes et al., 2014).

La administración y configuración en equipos de redes, enfoque de programabilidad basada en modelos YANG

Desde el inicio de la arquitectura tradicional de red, administrar un sistema de red significa interactuar con el sistema de alguna manera. Por lo general, implica lo siguiente:

- Acceso a las interfaces de línea de comandos (CLI) directamente a través de un puerto de consola o un protocolo de acceso remoto, para la configuración, supervisión y solución de problemas
- Monitoreo (y a veces cambio) del sistema a través de agentes de Protocolo Simple de Administración de Red (SNMP) y Bases de Información de Administración (MIB)
- Recopilación de registros del sistema a través de syslog
- Recopilación de estadísticas de flujo de tráfico con NetFlow o IP Flow Information Export (IPFIX)

No obstante, debido al avance tecnológico para optimizar estas tareas de los administradores, según (Nunes et al., 2014), hasta hace pocos años, la programación no era tan aplicable a la administración de redes informáticas, es el caso de la gestión de configuraciones realizada a través de CLI con mayor frecuencia, interfaz web en menor cantidad y protocolos tradicionales de administración como Simple Network Manager Protocol (SNMP). La CLI es el método más rápido de acceso a equipos de networking, pero complejo e ineficaz puesto que para gestionar desde esta opción existe la necesidad de conocer el sistema del dispositivo de red que estemos gestionando y en implementaciones nuevas o correcciones, estos son ingresados de forma manual en cada dispositivo. Esto conlleva a problemas relevantes en redes de mayor tamaño y más complejo para su configuración.

SNMP en sus versiones 1,2 y 3 se han utilizado para el monitoreo de la red y en situaciones extraordinarias para la configuración de dispositivos como routers y switches. (Valenčić & Mateljan, 2019)

Simple Network Management Protocol (SNMP) facilita al administrador de red gestionar nodos en redes de datos. Utilizando una Network Management Solution (NMS), permite además controlar el rendimiento, encontrar y ajustar problemas de red y obtener reportes estadísticos. Sin embargo, no se utiliza normalmente para la configuración debido a problemas de seguridad y dificultad en la implementación. (Stallings, 1998)

En las redes actuales los administradores a diario trabajan en redes donde se están implementando y administrando cientos de dispositivos de red complejos a través de software, también se han desarrollado métodos nuevos y diferentes para la supervisión, administración y configuración automática de la red basado en solicitudes de API RESTful² con el objetivo de automatizar tareas y

La administración y configuración en equipos de redes, enfoque de programabilidad basada en modelos YANG

con escalabilidad a un número mucho más grande de dispositivos, estas soluciones admiten intercambio de datos con formatos más eficientes como JSON y YAML entre otros.

Es ahí donde ha tomado un papel preponderante la programabilidad basada en modelos, incluida en estas tareas de automatización para proporciona un lenguaje de configuración que los humanos pueden leer y al mismo tiempo es estructurada y compatible con computadoras.

La programabilidad basada en modelos YANG ofrece el beneficio de segmentar el trabajo de administración en aspectos más independientes y comprensibles, por ejemplo, administrar fallas es obligatorio para encontrar las situaciones de falla y administrar la red de manera proactiva, administrar las configuraciones es esencial, no solo para crear instancias de nuevos servicios, sino también para mejorar los servicios y corregir errores.

²Interfaz de programación de aplicaciones (API o API web) que se ajusta a los límites de la arquitectura REST y permite la interacción con los servicios web de RESTful

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: Sección II ofrece una visión del uso de métodos tradicionales de administración, en la sección III describimos el paradigma que permite mejorar la gestión de la red y su innovación y evolución como son las Redes definidas por software, en la sección IV encontramos la arquitectura que utilizan las redes definidas por software y finalmente en la sección V ofrecemos las características para poner en marcha la programabilidad basada en modelos YANG.

Metodología

Para cumplir los objetivos planteados en este trabajo fue necesario ejecutar el siguiente proceso:

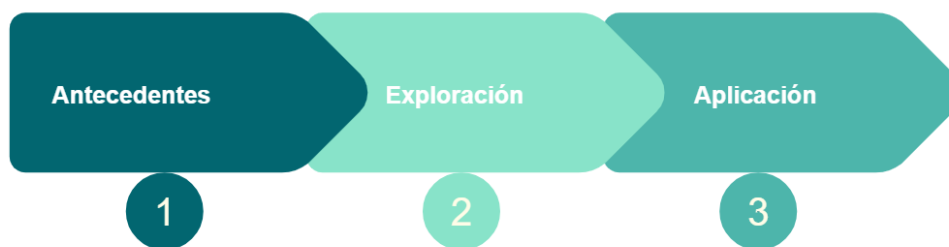


Figura 1.- Proceso desarrollado como metodología del desarrollo de este trabajo.

En los antecedentes se muestra la visión general de la administración de redes tradicional, se describen los protocolos y métodos utilizados por los administradores para realizar esta tarea.

En la fase de exploración se realizó un análisis exploratorio a través del análisis de literatura y estado del arte de la temática propuesta, brindando desde un punto de vista descriptivo, información

relevante sobre la flexibilidad de los modelos programables, programabilidad y la arquitectura de redes definidas por software.

Para la aplicación se realizaron las actividades que los administradores ejecutan actualmente con el objetivo de cambiar el enfoque de administración tradicional mediante la habilitación y uso de protocolos programables basados en el modelo YANG, sobre un dispositivo virtualizado de networking, como un router trabajando bajo sistema operativo de red IOS-XE.

Uso de métodos tradicionales

A pesar de los grandes avances y evolución que ha tenido el área de las redes de datos, existen métodos tradicionales que se siguen utilizando en la gestión de los dispositivos de red.

Método CLI (Command Line Interface)

La administración de dispositivos de red se realiza mediante los sistemas operativos propietarios, es decir de los proveedores de los equipos, sin embargo, a pesar de las diferencias entre los diferentes sistemas, todos utilizan interfaces textuales (CLI).

CLI, es una interfaz de usuario muy similar a la de DOS o UNIX que fue creada para permitir la interacción entre los administradores y los dispositivos de red.

Al acceder a un dispositivo a través de la CLI es posible ingresar una variedad de comandos que permiten su configuración en todos los aspectos, esto es posible con el establecimiento de una conexión a través de la red utilizando el protocolo telnet, SSH o SNMP.

Los comandos que se utilizan en la CLI son organizados de manera jerárquica, aquellos que tienen una funcionalidad similar son agrupados bajo el mismo nivel y con el mismo nombre. Esta organización facilita su uso y hace flexible la introducción de nuevas funciones de configuración.

Para utilizar la CLI en los dispositivos de red, es necesario conectar un cable de consola en el equipo, de esta manera se pueden realizar las configuraciones deseadas. Entre estas configuraciones es necesario asignar una dirección IP al equipo que permita el acceso de forma remota sin la necesidad de acceder a él físicamente.

```
Cisco IOS XE Software, Version 16.09.05
Cisco IOS Software [Fuji], Virtual XE Software (X86_64_LINUX_IOSD-UNIVERSALK9-M)
, Version 16.9.5, RELEASE SOFTWARE (fc1)
Technical Support: http://www.cisco.com/techsupport
Copyright (c) 1986-2020 by Cisco Systems, Inc.
Compiled Thu 30-Jan-20 18:48 by mcpre
```

```
Cisco IOS-XE software, Copyright (c) 2005-2020 by Cisco Systems, Inc.
All rights reserved. Certain components of Cisco IOS-XE software are
licensed under the GNU General Public License ("GPL") Version 2.0. The
software code licensed under GPL Version 2.0 is free software that comes
with ABSOLUTELY NO WARRANTY. You can redistribute and/or modify such
GPL code under the terms of GPL Version 2.0. For more details, see the
documentation or "License Notice" file accompanying the IOS-XE software,
or the applicable URL provided on the flyer accompanying the IOS-XE
software.
```

Figura 2.- Interfaz de Línea de comandos Cisco IOS XE

En la figura 2 podemos observar el acceso a la interface de la línea de comandos utilizada en un Router Cisco con sistema operativos IOS XE.

Existen protocolos que permiten el acceso remoto a los dispositivos a través de la CLI como son: Telnet y SSH.

Protocolos: Telnet/SSH

Telnet es un protocolo desarrollado en 1969 y es uno de los más antiguos en la capa de aplicación, se utiliza para establecer una conexión a través de la red con un dispositivo de red, es un protocolo de texto que se utiliza para la comunicación bidireccional entre dos dispositivos de red y se utiliza normalmente para la gestión de routers y switches.

El software de Telnet permite crear una Terminal Virtual (VT) para acceder a un dispositivo remoto de la misma manera que se realizaría con una conexión directa mediante la interfaz CLI.

El protocolo SSH (Secure Shell) se utiliza para establecer una conexión segura a través de la red entre dos dispositivos, es un protocolo cifrado utilizado normalmente para la gestión de routers y switches. Se recomienda el uso de SSH en lugar de Telnet siempre que sea posible para garantizar la seguridad en la comunicación.

El protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol) se utiliza para recopilar información de un dispositivo de red a través de la red, es un protocolo de gestión de red que permite el acceso a la información de un dispositivo de red desde una ubicación remota.

El protocolo, define la comunicación de un administrador con un agente, lo que significa que define el formato y el significado de los mensajes que intercambian entre el administrador y el agente. Los agentes SNMP presentan los datos como variables en el dispositivo controlado, esta información se organiza en una estructura de árbol llamada MIB (Management information base), que contiene un grupo de objetos a los cuales puede acceder el protocolo para supervisar y administrar. La MIB utiliza

la notación definida en ANS.1. Algunos dispositivos pueden ser configurados para el envío de mensajes denominados trap, a las estaciones de administración de la red en caso de fallos de una interfaz o en otros casos que sean predefinidos, el envío de estos mensajes se realiza utilizando el puerto UDP 162.

Las versiones de este protocolo son:

SNMP v1: que se desarrolló en 1988 y cuyo objetivo era lograr una solución temporal hasta la llegada de protocolos de gestión mejores y más completos. (no se utiliza actualmente)

SNMP v2: creado en 1993 y la versión más sencilla V2c en 1996, buscaba reducir los problemas de la versión 1 y lograr un mayor detalle en la definición de las variables y la creación de estructuras de los datos. Esta versión fue muy extendida.

SNMP v3: Desarrollado en el 2002 y mejoró la seguridad, así como la posibilidad de configuración remota. Esta versión es utilizada como estándar. (Valenčić & Mateljan, 2019)

Las Redes Definidas por Software (SDN)

Las SDN han surgido como una de las tecnologías más prometedoras para hacer que las redes sean programables, generan simplicidad en las operaciones de red, permiten reducir costos y acelerar la entrega de servicios. Entre sus propiedades principales que ofrecen programabilidad están la arquitectura abierta, las interfaces, las API.

La administración adecuada en una red empresarial es de vital importancia, SDN se implementa para hacer cumplir y ajustar las políticas de red mediante programación, así como para ayudar a monitorear la actividad de la red y ajustar su rendimiento. También, SDN simplifica la red al eliminar dispositivos intermedios e integrar su funcionalidad dentro de una controladora de red centralizada, servicios que se han integrado a SDN eliminándolos de dispositivos intermedios incluyen NAT (network address translations), firewalls, load balancer y control de acceso a la red.

Las tecnologías de red tradicionales se caracterizan por tener un plano de control y un plano de datos acoplados, hacen uso de una sola infraestructura de red física, por su parte las SDN separan los planos de control y datos, permitiendo que el plano de control sea programable de forma centralizada (Shin et al., 2012).

Plano de Control

Ofrece la inteligencia al dispositivo se usa al tomar decisiones de reenvío, en este plano están los mecanismos de reenvío de rutas, por ejemplo: tablas de vecinos y tablas de topología de protocolo de

La administración y configuración en equipos de redes, enfoque de programabilidad basada en modelos YANG

enrutamiento, las tabla ARP y la información de STP, entre otros. La información en el plano de control es procesada por la unidad central de proceso del dispositivo.

Plano de Datos

Los dispositivos utilizan este plano en el reenvío de los flujos de tráfico y la información del plano de control en el reenvío de tráfico, la información de este plano es procesada por un procesador especial del plano de datos, sin que se involucre a la CPU

La separación de los planos que se lleva a cabo en SDN donde el hardware de reenvío esta desacoplado de la lógica de control hace que incorporar nuevos protocolos y aplicaciones sea más fácil, sencillas en la visualización y gestión de redes, en lugar de realizar el mismo trabajo, pero en dispositivos individuales y separados.(Nunes et al., 2014)

Arquitectura SDN

Durante el tiempo que las redes tradicionales han funcionado si bien han permitido evolucionar considerablemente las comunicaciones, se trata de sistemas cerrados, las interfaces para control tienen limitaciones y están enmarcadas en proveedores en particular lo que ocasiona una difícil evolución en las redes tradicionales es el caso de la implementación de nuevas versiones de protocolos y nuevos servicios, considerando el gran y acelerado crecimiento de internet nuevas funcionalidades son un requerimiento cada vez más exigente.

En la SDN cuyo principio fundamental es desacoplar el plano de control del plano de datos, dos arquitecturas técnicamente muy diferentes en términos de diseño, arquitectura, modelo de reenvío e interfaz de protocolo, han tomado las riendas en el desarrollo de permitir la estandarización para intercambiar información entre los planos desacoplados estas son ForCES (*RFC 5810 - Forwarding and Control Element Separation (ForCES) Protocol Specification*, n.d.) y Openflow (Mckeown et al., n.d.).

OpenFlow

Estandariza el intercambio de información entre los dos planos, en la figura 3 se puede ver el frente a frente entre la arquitectura de red tradicional y la arquitectura de SDN.

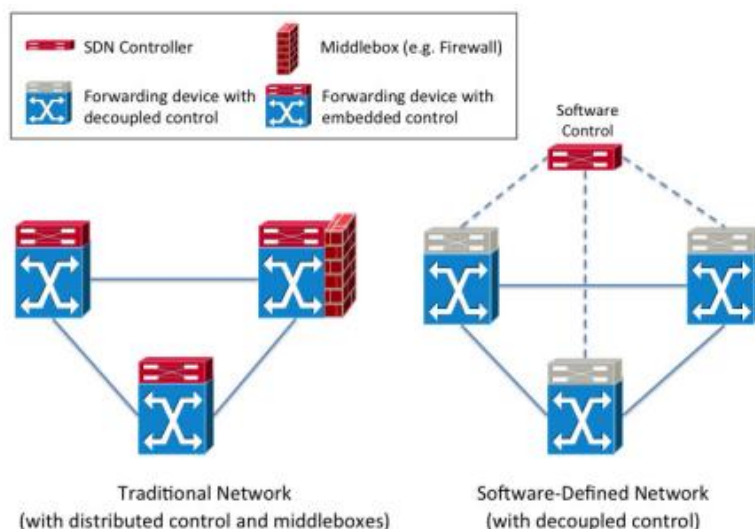


Figura 3.- La arquitectura SDN desacopla la lógica de control del hardware de reenvío

En la arquitectura SDN los switches de reenvío Openflow proporcionan una o varias tablas de flujo que determinan como se reenvían los paquetes y una capa de abstracción que comunican a una controladora a través del protocolo OpenFlow con el cual un controlador remoto puede agregar, actualizar o eliminar entradas de flujo de las tablas de flujo del conmutador.(Nunes et al., 2014)

Cada dispositivo recibe las del plano de control a través de un controlador centralizado, al dispositivo entonces le queda exclusivamente enfocarse en el envío de datos mientras la controladora gestiona todo el flujo de datos, mejora la seguridad y proporciona otros servicios.

En una arquitectura SDN se complementa con el plano de administración que es usado para administrar y configurar los dispositivos por medio de una conexión de red a través de aplicaciones como Secure Shell (SSH), Secure Hypertext Transfer Protocol (HTTPS), entre otros. En las arquitecturas tradicionales de red SNMP utiliza el plano de administración.

El plano de datos es configurado en el controlador OpenFlow por medio de API, CLI o GUI, sobre dispositivos OpenFlow, como se muestra en la Figura 4. (Benoit Claise et al., n.d.)

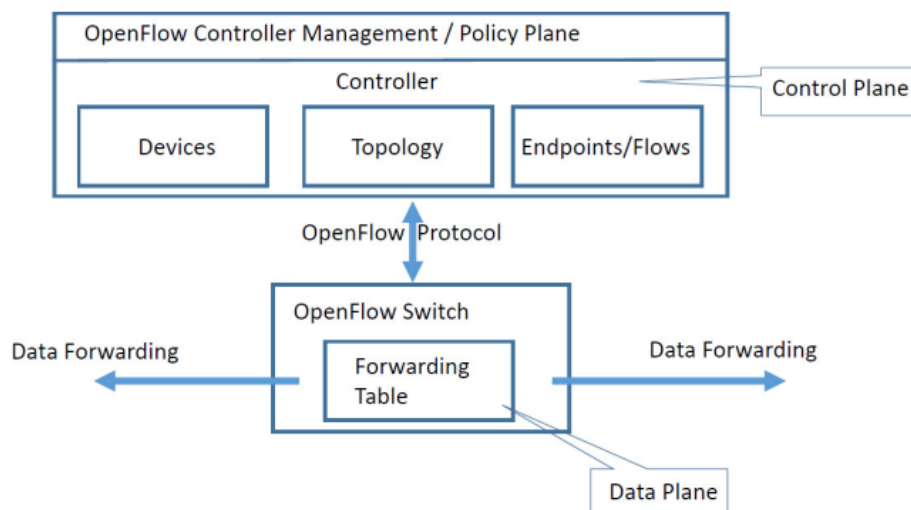


Figura 4.- Entorno de controladora OpenFlow

Resultados

En la Programabilidad basada en modelos los dispositivos programables cuentan con interfaces programables que están diseñadas explícitamente para ser consumidas por las máquinas, permiten gestionar su comportamiento como la configuración y administración mediante protocolos de software, tareas que tradicionalmente se realizan con una CLI y GUI, esto facilita la configuración de dispositivos de red y superar los inconvenientes que plantean las técnicas tradicionales de administración de dispositivos de red.

La capacidad programable de un dispositivo está basada en modelos y hereda la potencia de estos, haciendo coincidir las capacidades y servicios de un dispositivo con los modelos estandarizados, los modelos ofrecen una forma programática y basada en estándares de escribir configuraciones para cualquier dispositivo de red, implementando YANG como el lenguaje de modelado de datos podemos reemplazar la configuración manual.

Actualmente las redes disponen de un conjunto de modelos de datos basados en YANG y utiliza el lenguaje de modelado YANG versión 1 o YANG versión 1.1 descritos en RFC6020 y RFC7950 respectivamente, se utilizan para especificar la configuración y el estado operativo que admite un dispositivo.

YANG permite a diferentes proveedores de dispositivos de red describir su tipo de dispositivo, configuración y estado para asignar al funcionamiento del dispositivo de manera programática sobre una pila de programabilidad basada en modelos como se ve en la figura 5.

La administración y configuración en equipos de redes, enfoque de programabilidad basada en modelos YANG

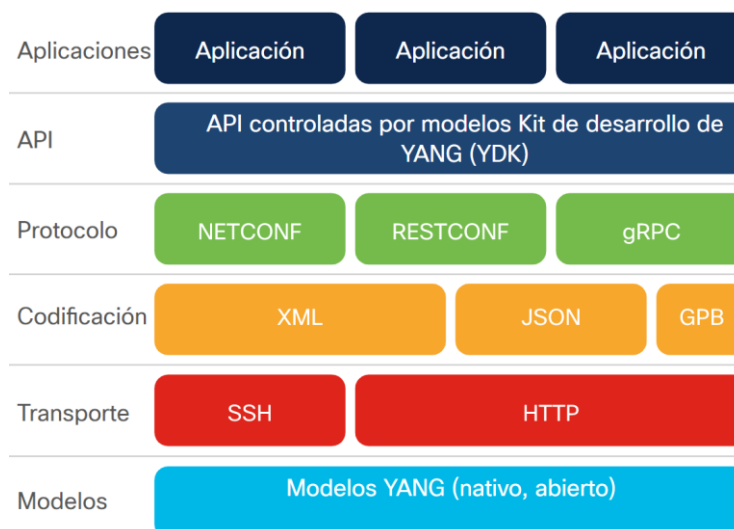


Figura 5.- Pila de programabilidad basada en modelos de YANG.

El dispositivo a programar tiene que admitir la configuración basada en modelos. Para los modelos basados en YANG, necesita admitir YANG y comprender los protocolos de nivel superior basados en YANG, como NETCONF y RESTCONF.

Para ayudarle a comprender mejor el modelado de datos YANG en el contexto de la programabilidad de la red, se usa un módulo YANG real para Cisco IOS XR cuya estructura tiene tres partes principales:

- Instrucciones de encabezado de módulo
- Declaraciones de revisión
- Declaraciones de definición

Cuando conoce la terminología y la estructura de YANG, no es difícil entender el contenido de un archivo YANG, que tiene comentarios y descripciones muy detalladas. Pero esas descripciones también hacen que el archivo sea muy largo. Afortunadamente, existen herramientas para extraer el contenido de una manera más legible y concisa, y la herramienta pyang es una de ellas.

Utilizando GitHub puede examinar un ejemplo de un modelo abierto en <https://github.com/YangModels/yang/blob/master/standard/ietf/RFC/ietf-interfaces%402018-02-20.yang>.

Entre los objetivos de YANG se encuentra un modelo de datos altamente legible que admita la definición de jerarquías de datos y promueva la reutilización del modelo. Los datos descritos por un

La administración y configuración en equipos de redes, enfoque de programabilidad basada en modelos YANG

modelo de datos de modelo YANG están conceptualmente contenidos en un almacén de datos y se pueden instanciar como XML o JSON.(Chandramouli & Clemm, 2017)

A. Netconf

Network Configuration (NETCONF) es un protocolo definido por IETF RFC7519, permite instalar, manipular y eliminar la configuración de dispositivos de red. Es el protocolo principal utilizado con los modelos de datos YANG. Sus operaciones se realizan sobre la llamada a procedimiento remoto (RPC) intercambiada a través de un protocolo de transporte seguro como SSH, utiliza codificación de datos basada en XML y proporciona un conjunto de operaciones para administrar configuraciones de dispositivos y recuperar información de estado del dispositivo como se ve en la tabla 1. (Mayoral et al., 2020)

Descripción	NETCONF
Crear un recurso de datos	<get-config>, </edit-config>
Recuperar datos y metadatos	<get-config>, <get>,</edit-config>
Crear o reemplazar un recurso de datos	<get-config> (nc:operation="create/replace")
Eliminar un recurso de datos	<get-config> (nc:operation="delete")

Tabla1.- Conjunto de operaciones NETCONF

En la implementación de NETCONF para acceder a un dispositivo con IOS XE, los datos se devuelven en formato XML, en el ejemplo de la figura 6 usamos un mensaje RPC get en la sesión SSH del terminal para recuperar información sobre las interfaces del dispositivo.

```
<rpc message-id="103" xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:netconf:base:1.0">  
  <get>  
    <filter>  
      <interfaces xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:ietf-interfaces"/>  
    </filter>  
  </get>  
</rpc>
```

Figura 6.- Mensaje RPC get para recuperar información de las interfaces de un dispositivo con IOS XE.

El resultado del mensaje RPC get con la información solicitada en formato XML se visualiza en la salida de la figura 7.-

XML Pretty Printed

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<rpc-reply xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:netconf:base:1.0" message-id="103">
  <data>
    <interfaces xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:ietf-interfaces">
      <interface>
        <name>GigabitEthernet1</name>
        <description>VBox</description>
        <type xmlns:ianaift="urn:ietf:params:xml:ns:yang:iana-if-type">ianaift:ethernetCsmacd</type>
        <enabled>true</enabled>
        <ipv4 xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:ietf-ip"/>
        <ipv6 xmlns="urn:ietf:params:xml:ns:yang:ietf-ip"/>
      </interface>
    </interfaces>
  </data>
</rpc-reply>
```

Figura 7. Salida de un mensaje RPC get mostrando la información de las interfaces de un dispositivo con IOS XE en formato XML.

B. Restconf

Combina la simplicidad de HTTP con la previsibilidad y el potencial de automatización de una API basada en esquemas, con las mismas características de NETCONF, RESTCONF encapsula los mensajes utilizados por NETCONF bajo el protocolo HTTP y utiliza YANG para proporcionar API similares a REST para permitir la programación de los dispositivos, utiliza la codificación de notación de objetos JavaScript (JSON) y podemos entonces aplicar los métodos HTTP GET, POST, PUT, PATCH y DELETE sobre la API RESTCONF para acceder a los recursos de datos representados por modelos de datos YANG y realizar operaciones de creación, lectura, actualización y eliminación (CRUD) en un almacén de datos conceptual que contiene datos definidos por YANG. (Vilalta et al., 2018)

Con la ayuda de un dispositivo con IOS XE una vez habilitada y comprobada la funcionalidad de RESTCONF, enviamos solicitudes tipo GET a través de POSTMAN, con el modelo YANG de ietf-interfaces para recopilar información de interfaz como se ve en la figura 8.

```
GET https://192.168.0.112/restconf/data/ietf-interfaces:interfaces

1 {
2   "ietf-interfaces:interfaces": {
3     "interface": [
4       {
5         "name": "GigabitEthernet1",
6         "description": "VBox",
7         "type": "iana-if-type:ethernetCsmacd",
8         "enabled": true,
9         "ietf-ip:ipv4": {},
10        "ietf-ip:ipv6": {}
11      },
12      {
13        "name": "Loopback1",
14        "description": "My first NETCONF loopback",
15        "type": "iana-if-type:softwareLoopback",
16        "enabled": true,
17        "ietf-ip:ipv4": {
18          "address": [
19            {
20              "ip": "10.1.1.1",
21              "netmask": "255.255.255.0"
22            }
23          ]
24        }
25      }
26    ]
27  }
28 }
```

Figura 5.- Método GET a la API RESTconf del dispositivo con IOS XE para visualizar la información de las interfaces del dispositivo.

Conclusiones

En este documento, brindamos una descripción general de la forma tradicional de realizar la administración de redes, para conocer las temáticas de administración y configuración de red con estos métodos, en este contexto, describimos el método de acceso principal como la interface de línea de comandos CLI y los protocolos usados tradicionalmente como SSH/Telnet y SNMP.

Describimos la arquitectura SDN en detalle, tecnología usada actualmente para hacer que las redes sean programables. Una red programable utiliza el modelado YANG para interactuar con el administrador a través de herramientas existentes basadas en YANG, puede usar lenguajes de programación como Python para desarrollar aplicaciones de administración de red personalizadas.

La programabilidad basada en un modelo YANG permite a los administradores interactuar con un dispositivo de red a través de una aplicación con una interfaz de usuario y puede operarse desde cualquier ordenador. La prueba realizada demuestra la viabilidad del enfoque propuesto de utilizar el lenguaje de modelado YANG para la gestión de configuraciones del dispositivo.

Referencias

1. Benoit Claise, Joe Clarke, & Jan Lindblad. (n.d.). *Network Programmability with YANG: The Structure of Network Automation with ...* - Benoit Claise, Joe Clarke, Jan Lindblad - Google Libros. Retrieved January 20, 2022, from https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=4AqXDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT30&dq=modeling+yang+programmable+networks&ots=82crHbJYXe&sig=ORWV1nPg_TD X_23e59iZF58spIA&redir_esc=y#v=onepage&q=modeling yang programmable networks&f=false
2. Chandramouli, M., & Clemm, A. (2017). Model-driven analytics in SDN networks. *Proceedings of the IM 2017 - 2017 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network and Service Management*, 668–673. <https://doi.org/10.23919/INM.2017.7987356>
3. Mayoral, A., Lopez, V., Fernandez-Palacios, J. P., Yufeng, Y., Lifeng, Z., Wenjun, H., Mingfeng, Z., & Changlong, Y. (2020). First demonstration of YANG push notifications in Open Terminals. *2020 24th International Conference on Optical Network Design and Modeling, ONDM 2020*, 20–22. <https://doi.org/10.23919/ONDM48393.2020.9133037>
4. Mckeown, N., Anderson, T., Balakrishnan, H., Parulkar, G., Peterson, L., Rexford, J., Shenker, S., & Turner, J. (n.d.). *OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks*.
5. Nunes, B. A. A., Mendonca, M., Nguyen, X. N., Obraczka, K., & Turletti, T. (2014). A survey of software-defined networking: Past, present, and future of programmable networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(3), 1617–1634. <https://doi.org/10.1109/SURV.2014.012214.00180>
6. *RFC 5810 - Forwarding and Control Element Separation (ForCES) Protocol Specification*. (n.d.). Retrieved January 20, 2022, from <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc5810/>
7. Shin, M. K., Nam, K. H., & Kim, H. J. (2012). Software-defined networking (SDN): A reference architecture and open APIs. *International Conference on ICT Convergence*, 360–361. <https://doi.org/10.1109/ICTC.2012.6386859>
8. Stallings, W. (1998). SNMP and SNMPv2: The infrastructure for network management. *IEEE Communications Magazine*, 36(3), 37–43. <https://doi.org/10.1109/35.663326>
9. Valenčić, D., & Mateljan, V. (2019). Implementation of NETCONF Protocol. *2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, 421–430. <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2019.8756925>

10. Vilalta, R., Via, S., Mira, F., Casellas, R., Munoz, R., Alonso-Zarate, J., Kousaridas, A., & Dillinger, M. (2018). Control and Management of a Connected Car Using SDN/NFV, Fog Computing and YANG data models. *2018 4th IEEE Conference on Network Softwarization and Workshops, NetSoft 2018*, 344–346. <https://doi.org/10.1109/NETSOFT.2018.8460131>

©2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).