



Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales



Tesis

Para optar a la titulación de postgrado correspondiente a la

Maestría en Ingeniería de Software

**Modelo ontológico para la interoperabilidad de
políticas de calidad de servicio entre controladores de
Redes Definidas por Software**

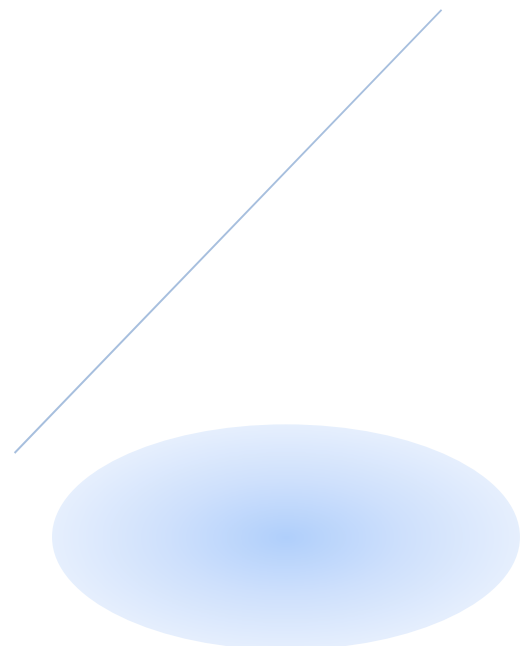
Ing. Juan Carlos Calloni

Directores:

Dr. Germán Montejano

Dr. Daniel Fernandes Macedo

SAN LUIS 2018



INDICE

| | |
|---|-----------|
| DEDICATORIA | 6 |
| I. CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN | 7 |
| I.1. INTRODUCCIÓN | 7 |
| I.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 9 |
| I.3. LA SOLUCIÓN | 13 |
| I.4. LA HIPÓTESIS | 13 |
| I.5. OBJETIVOS | 14 |
| I.6. RESULTADOS ESPERADOS | 14 |
| I.7. PLAN DE ACTIVIDADES | 15 |
| II. CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL | 16 |
| II.1. ONTOLOGÍAS | 16 |
| II.1.1. Definiciones de Ontologías | 17 |
| II.1.2. Sistemas basados en ontologías | 18 |
| II.1.3. Proceso de desarrollo de Ontología | 21 |
| II.2. MODELOS DE SISTEMAS | 22 |
| II.2.1. Modelado de Sistemas | 25 |
| II.2.2. Proceso de Modelado | 26 |
| a) CIM (Modelo Independiente de la computación) | 27 |
| b) PIM (Modelo Independiente de la Plataforma) | 27 |
| c) PSM (Modelo específico de la Plataforma) | 27 |
| II.3. INTEROPERABILIDAD | 29 |
| II.3.1. Definiciones de Interoperabilidad | 29 |
| II.3.2. Modelo de Interoperabilidad | 30 |
| a) Interoperabilidad Técnica | 30 |
| b) Interoperabilidad Sintáctica | 31 |
| c) Interoperabilidad Semántica | 31 |
| d) Interoperabilidad pragmática | 32 |
| e) Interoperabilidad dinámica | 32 |
| f) Interoperabilidad Conceptual | 32 |
| g) Interoperabilidad Organizacional | 33 |
| II.4. REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE SDN | 34 |
| II.4.1. Antecedentes | 34 |
| II.4.2. Introducción | 35 |
| II.4.3. Definiciones SDN | 37 |
| II.4.4. Funcionamiento SDN | 41 |
| II.4.5. Beneficios SDN | 42 |
| II.4.6. Usos y Aplicaciones SDN | 44 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| II.5. | SISTEMAS DE CONTROLADORES SDN | 46 |
| II.5.1. | Definición de Controladores SDN..... | 46 |
| II.5.2. | NOX..... | 50 |
| II.5.3. | POX..... | 52 |
| II.5.4. | ONOS | 53 |
| II.5.5. | MININET | 55 |
| II.6. | OPENFLOW | 58 |
| II.6.1. | Historia | 58 |
| II.6.2. | Tablas de Flujos | 59 |
| II.6.3. | Switch OpenFlow..... | 61 |
| II.7. | CALIDAD DE SERVICIO (QUALITY OF SERVICE QoS)..... | 66 |
| II.7.1. | Evolución de la QoS..... | 68 |
| II.7.2. | QoS en OpenFlow..... | 69 |
| III. | CAPÍTULO III – ESTADO DEL ARTE..... | 71 |
| III.1. | DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROBLEMA | 71 |
| III.2. | TRABAJOS RELACIONADOS | 75 |
| III.2.1. | Proyecto Autoi..... | 75 |
| III.2.2. | Gestión de Redes de datos a través de ontologías utilizando sistemas multiagentes | 77 |
| III.2.3. | Gestión semántica Aplicando las ontologías a la gestión de red..... | 79 |
| III.2.4. | Un enfoque basado en la ontología hacia la configuración de dispositivos de red heterogéneos..... | 80 |
| IV. | CAPÍTULO IV – MODELO DE CONTROLADORES PARA INTER-OPERAR POLÍTICAS. ... | 82 |
| IV.1. | MATERIAL Y MÉTODOS..... | 82 |
| IV.2. | CONTROLADORES SDN | 82 |
| IV.3. | INTEROPERABILIDAD ENTRE CONTROLADORES SDN | 92 |
| V. | CAPÍTULO V – VALIDACIÓN DEL MODELO | 95 |
| V.1. | PLANIFICACIÓN DEL EXPERIMENTO..... | 95 |
| V.2. | DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA. | 96 |
| V.3. | RESULTADOS..... | 110 |
| V.4. | DISCUSIÓN | 114 |
| VI. | CAPÍTULO VI - CONCLUSIONES | 118 |
| VI.1. | CONCLUSIONES..... | 118 |
| VII. | CAPÍTULO VII – FUTURAS INVESTIGACIONES | 120 |

| | |
|---|------------|
| VII.1. INVESTIGACIONES FUTURAS | 120 |
| VIII. CAPÍTULO VIII – ANTECEDENTES DEL PROYECTO. | 121 |
| VIII.1. INFORME PRESENTADO EN EL 5TO CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA INFORMÁTICA / SISTEMAS DE INFORMACIÓN AÑO 2017 ISSN: 2347-0372..... | 121 |
| VIII.1. INFORME PRESENTADO EN XX WORKSHOP DE INVESTIGADORES EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN AÑO 2018 ISBN 978-987-3619-27-4. | 122 |
| AGRADECIMIENTOS..... | 124 |
| IX. BIBLIOGRAFÍA..... | 125 |

Tabla de Figuras

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - ARQUITECTURA DE SDN..... | 8 |
| FIGURA 2 - RED ÁRBOL CON MININET 4 x 2 | 9 |
| FIGURA 3 - DOMINIO SDN 1 Vs. DOMINIO SDN 2 | 10 |
| FIGURA 4 - VIDEO CONFERENCIA HOST SDN 1 CON HOST SDN2. ENVÍO POLÍTICAS QoS..... | 11 |
| FIGURA 5 - INTEROPERACIÓN DE POLÍTICAS EN LA CAPA DE CONTROL..... | 12 |
| FIGURA 6 - CRECIMIENTO DE PROYECTOS SDN SEGÚN INFONETICS RESEARCH [6] | 12 |
| FIGURA 7 - PLAN DE TESIS. | 15 |
| FIGURA 8 - MARCO TEÓRICO - MAPA CONCEPTUAL DE TÉRMINOS | 16 |
| FIGURA 9 - MAPA CONCEPTUAL DE UNA ONTOLOGÍA | 20 |
| FIGURA 10 - CICLO DE VIDA METAONTOLÓGICO - GOMEZ PEREZ 2005 [18] | 21 |
| FIGURA 11 - . TAREAS SEGÚN LA METAONTOLOGÍA [18] | 22 |
| FIGURA 12 - GRÁFICO DE CLASIFICACIÓN MODELOS [20]. | 23 |
| FIGURA 13 - ARQUITECTURA BASADA EN MODELO [22]. | 28 |
| FIGURA 14 - INTEROPERABILIDAD TÉCNICA [28]..... | 31 |
| FIGURA 15 - MODELOS DE INTEROPERABILIDAD [23]. | 33 |
| FIGURA 16 - HISTÓRICO DE TRÁFICO DE INTERNET [33] | 36 |
| FIGURA 17 - ARQUITECTURA SDN SIMPLIFICADA USANDO OPENFLOW [36] | 38 |
| FIGURA 18 - . EJEMPLO DE USO DE SDN EN PROVEEDOR DE INTERNET | 44 |
| FIGURA 19 - OPEN DAYLIGHT Y ONOS API [49] | 47 |
| FIGURA 20 - ARQUITECTURA NOX [50]. | 50 |
| FIGURA 21 - ARQUITECTURA EJEMPLO DE ONOS [8]. | 55 |
| FIGURA 22 - CAMPOS DE FLUJOS DE ENTRADA [55]. | 60 |
| FIGURA 23 - ARQUITECTURA DE UN SWITCH OPENFLOW [57] | 62 |
| FIGURA 24 - CONMUTADOR OPENFLOW EN LA ESPECIFICACIÓN 1.5.0 [58]. | 64 |
| FIGURA 25 - DIAGRAMA DE PROCESOS DE UN SWITCH OPENFLOW Y UN CONTROLADOR | 65 |
| FIGURA 26 – EJEMPLO DE QOS [64]. | 68 |
| FIGURA 27 – OPENFLOW MÉTRICAS [64]. | 70 |
| FIGURA 28 - B4 GOOGLE ARQUITECTURA [65]. | 72 |
| FIGURA 29 - LÍNEA DEL TIEMPO DE LA EVOLUCIÓN DE SDN [70]. | 73 |
| FIGURA 30 - AUTOI INTERNET AUTOMÁTICO [73]. | 76 |
| FIGURA 31 - DEN-NG. TAXONOMÍA [73] | 77 |
| FIGURA 32 - MODELO CONCEPTUAL DE CAPA DE APLICACIÓN DE GESTIÓN [74]. | 78 |
| FIGURA 33 - MODELO ONTOLÓGICO DE CLASES Y SUBCLASES [74]. | 79 |
| FIGURA 34 - - ARQUITECTURA DE UN GESTOR QUE MANEJE ONTOLOGÍAS [75] | 80 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 35 - DIAGRAMA DE CLASES GENERAL PROPUESTO | 83 |
| FIGURA 36 - DIAGRAMA DE ESTRUCTURA..... | 84 |
| FIGURA 37 - DIAGRAMA DE DEPENDENCIAS DE CONTROLADOR SDN | 85 |
| FIGURA 38 - MODELO ONTOLÓGICO SDN PROPUESTO..... | 86 |
| FIGURA 39 - MODELO ONTOLÓGICO PROTEGÉ | 87 |
| FIGURA 40 – VISTA OWL/XML RENDERING DEL MODELO ONTOLÓGICO PROTEGÉ | 91 |
| FIGURA 41 – VISTA CONTROLADOR SDN EN PROTEGÉ | 91 |
| FIGURA 42 - DIAGRAMA DE FLUJO - MECANISMO PARA LA INTEROPERABILIDAD DE POLÍTICAS | 92 |
| FIGURA 43 – ESCENARIO DE DISTRIBUCIÓN FIBRE EN BRASIL. | 96 |
| FIGURA 44 – ESCENARIO DE PRUEBA FIBRE PROPUESTO..... | 97 |
| FIGURA 45 – WEB DEL PROYECTO FIBRE..... | 98 |
| FIGURA 46 – WEB DEL PROYECTO FIBRE EN UFMG. | 99 |
| FIGURA 47 – FIBRE EN UFMG INGRESO DE USUARIO. | 100 |
| FIGURA 48 – FIBRE EN UFMG CREANDO NUEVO PROYECTO..... | 101 |
| FIGURA 49 – FIBRE PUNTOS PRENDIDOS PARA AGREGAR A NUESTRO PROYECTO..... | 101 |
| FIGURA 50 – ESCENARIO FIBRE PARA EXPERIMENTO | 102 |
| FIGURA 51 – HERRAMIENTA OPENVPN. | 103 |
| FIGURA 52 – CERTIFICADO PARA OPENVPN FIBRE. | 104 |
| FIGURA 53 – HERRAMIENTAS DE ACCESO REMOTO POR CANAL SEGURO. | 105 |
| FIGURA 54 – PROMEDIO DE KBITS POR SEGUNDO POR NODO. | 111 |
| FIGURA 55 – PORCENTAJE PROMEDIO DE PAQUETES PERDIDOS..... | 112 |
| FIGURA 56 – TOTAL DE KBYTES RECIBIDOS LUEGO DE LAS 10 EJECUCIONES..... | 112 |
| FIGURA 57 - TOTAL DE KBYTES RECIBOS POR NODO. | 113 |
| FIGURA 58 – LATENCIA PROMEDIO EN MS | 115 |
| FIGURA 59 – JITTER PROMEDIO MS..... | 115 |
| FIGURA 60 – ANCHO DE BANDA EN BYTES POR SEGUNDO..... | 116 |
| FIGURA 61 – LATENCIA Vs JITTER POR NODO..... | 116 |

Tesis Para optar a la titulación de postgrado correspondiente a la Maestría en Ingeniería de Software

Dedicatoria

Dedico este proyecto a cada una de las personas con las que me encontré en la vida las cuales supieron aportar a mi formación profesional, algunos hoy son parte de una amistad entrañable con los que día a día compartí y comparto experiencias que suman y enriquecen nuestra rutina de vivir y compartir tiempo en nuestras actividades cotidianas.

A mi familia que me supo apoyar en este objetivo que me puse y me aconsejaron en los momentos críticos en los que se me presentaba una dificultad, me animaron y por sobre todas las cosas me entendieron cuando el fin de semana no les dedicaba tanto tiempo.