



## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno  Proyecto Semilla  Proyecto Junior  Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica  Investigación Aplicada  Investigación Pedagógica  Innovación

### DEPARTAMENTO(S):

1. Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información (DETRI)

### LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Software de Comunicación de Datos

### 1 Proyecto de Investigación

#### Título:

Utilización de una SDN para la implementación de la solución al problema *shared bottleneck* del protocolo MP-TCP (*MultiPath -TCP*)

#### Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)

Se desea utilizar los principios de la arquitectura de una SDN (*Software Defined Network*) para complementar las tareas realizadas por la reciente extensión propuesta para el protocolo TCP denominada MPTCP (*MultiPath -TCP*). En particular, se implementará un prototipo de un controlador SDN con las ideas propuestas por el grupo de trabajo de la Universidad Federal de San Carlos de Brasil para mejorar la tarea de MPTCP en el problema que se conoce como *shared bottleneck*.

MPTCP es una alternativa para utilizar de forma simultánea varias interfaces de red (WiFi, acceso celular, interfaces LAN, etc.), cada una con diferente dirección IP. MPTCP distribuye los datos entre varios subflujos (*subflows*) asociados a las interfaces hacia un destino común y potencialmente siguiendo caminos diferentes. Con esto se consigue una mejor utilización de los recursos, mejor *throughput* y una mejor respuesta frente a fallas de los enlaces. Sin embargo, existen ocasiones cuando un host solo dispone de una interfaz de red y los subflujos creados por MPTCP se envían por el mismo camino provocando una sobreutilización del ancho de banda de estos enlaces denominado como *shared bottlenecks*, por lo que se deben buscar formas efectivas de enviar subflujos de una misma conexión MPTCP a través de múltiples caminos. Una forma de no modificar la implementación de MPTCP que se está ejecutando en los hosts, sin importar cual implementación se está utilizando, ni el sistema operativo, ni el tipo de dispositivo es emplear un dispositivo que soporte Openflow para derivar la inteligencia del dispositivo a un servidor-controlador el cual determinará la funcionalidad deseada. Se deberá entonces desarrollar un módulo con alguno de los controladores que la EPN ha trabajado en proyectos anteriores. Para cumplir lo planteado, se identifican tres fases en el proyecto.

**Fase I: Análisis de MPTCP:** Se analizará los RFC asociados a MPTCP; se revisarán y evaluarán las implementaciones de MPTCP utilizando dispositivos con varias interfaces estableciendo algunos prototipos básicos de red; luego se emplearán dispositivos a los cuales se les puede cambiar el firmware por uno denominado OpenWRT con soporte MPTCP, esto permitirá emplear las alternativas de gateway y VPN en los prototipos. Finalmente, se analizará una implementación en el simulador NS3, con lo cual se completará la etapa de familiarización con los detalles de MPTCP.

**Fase II: Análisis de las SDN e implementación de un analizador de MPTCP:** Se determinará la mejor plataforma de controlador para la implementación de los dos módulos a desarrollar. El primer módulo de controlador se implementará en la Fase II y se enfocará a ser un analizador de los subflujos MPTCP que atraviesen un switch con soporte Openflow. Por cada interfaz física de los hosts se tendrá una conexión a un puerto de un switch Openflow el cual estará interconectado al servidor-controlador lo que permitirá el análisis del tráfico en el módulo desarrollado. Para la evaluación del módulo se empleará Mininet para tener redes virtualizadas, y prototipos basados en switches Openflow virtualizados, switches habilitados con cambio de firmware y switches de mayor prestaciones con soporte nativo de Openflow.

**Fase III: Implementación de las modificaciones a MPTCP:** En base a las dos fases anteriores se tendrán los elementos necesarios para implementar el segundo módulo controlador en base a las modificaciones propuestas por la Universidad Federal de San Carlos y mejorar el problema del *shared bottleneck*.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

Palabras clave (4-6):  
MPTCP, SDN, Openflow, Controlador SDN, *shared bottleneck*

<b>2 Datos personales y académicos del Director del Proyecto</b>		
Apellidos: Bernal Carrillo Nombres: Iván Marcelo		Teléfono casa: 3285354
Cédula de Identidad: 1708746803	Teléfono celular: 0998592102	
Cargo actual en la EPN: Profesor Principal TC		
Dirección particular: Nicolás Urquiola E6-138		Teléfono oficina: 2507144 Ext. EPN: 2238 Correo electrónico: <a href="mailto:ivan.bernal@epn.edu.ec">ivan.bernal@epn.edu.ec</a>
<b>Formación de pregrado y posgrado</b>		
<b>Títulos</b>	<b>Fecha</b>	<b>Institución / Universidad/País</b>
Ph.D. in Computer Engineering	1997-2001	Syracuse University / EEUU
M.Sc. in Computer Engineering	1995-1997	Syracuse University / EEUU
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones	1985-1992	Escuela Politécnica Nacional / Ecuador

<b>3 Datos personales y académicos del Profesor colaborador</b>		
Apellidos: Mejía Navarrete Nombres: Raúl David		Teléfono casa: 2500094
Cédula de Identidad: 1714370333	Teléfono celular: 0987181536	
Cargo actual en la EPN: Profesor Agregado III TC		
Dirección particular: Iberia N19-20 y José Álvarez		Teléfono oficina: 2057144 Ext. EPN: 2205 Correo electrónico: <a href="mailto:david.mejia@epn.edu.ec">david.mejia@epn.edu.ec</a>
<b>Formación de pregrado y posgrado</b>		
<b>Títulos</b>	<b>Fecha</b>	<b>Institución / Universidad</b>
Magister en Multimedia y Comunicaciones	2009-2011	Universidad Carlos III de Madrid – Universidad Rey Juan Carlos / España
Ingeniero en Electrónica y Redes de Información	1999-2005	Escuela Politécnica Nacional / Ecuador

<b>5</b>	<b>Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación</b>
	<b>5.1 Objetivos</b>
	<b>5.1.1 Objetivo General</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Emplear los principios de las SDN para implementar un analizador de MPTCP y un módulo para abordar el problema del <i>shared bottleneck</i>.</li></ul>
	<b>5.1.2 Objetivos Específicos</b>
	<ol style="list-style-type: none"><li>a. Analizar los RFC asociados a MPTCP</li><li>b. Evaluar las implementaciones existentes MPTCP con varios escenarios de redes e interfaces de red físicas.</li><li>c. Implementar el prototipo de un controlador SDN para analizar los subflujos creados por MPTCP para una conexión.</li></ol>



- d. Implementar el prototipo de un controlador SDN con las ideas propuestas por el grupo de trabajo de la Universidad Federal de San Carlos de Brasil para mejorar el problema de *shared bottleneck*.
- e. Implementar prototipos de SDN para probar la funcionalidad de los módulos desarrollados empleando switches Openflow virtualizados, habilitados y con soporte nativo.

### 5.2 Relevancia de esta propuesta de investigación y su relación con la(s) Línea(s) de investigación asociadas.

Una de las líneas de investigación del Departamento de Electrónica Telecomunicaciones y Redes de Información (DETRI) es la de "Software de Comunicación de Datos".

Las diferentes temáticas a abordarse en el proyecto, como son: protocolos para redes de datos, nuevas arquitecturas para redes, desarrollo de software para comunicaciones, aplicaciones distribuidas, hardware de telecomunicaciones, están directamente relacionadas con las actividades del DETRI y las dos carreras que están a su cargo.

Los objetivos planteados en el proyecto son alcanzables. Entre los factores a contribuir al éxito del proyecto se pueden considerar varios; así se dispone de bibliografía inicial, existe variada información en el Internet. Tanto el director del proyecto así como el docente colaborador han participado en dos proyectos sobre SDN, uno semilla y otro externo con financiamiento de CEDIA; además han asistido a conferencias y seminarios internacionales sobre la temática de SDN y poseen un conocimiento adecuado sobre MPTCP para iniciar las actividades de este proyecto; así también, en base a los proyectos mencionados se han obtenido ciertos componentes de hardware y software que se emplearán en este nuevo proyecto propuesto.

El impacto del proyecto propuesto se lo puede apreciar en varias dimensiones; así en el aspecto docente, como parte de la reforma a la malla curricular de la Carrera en Electrónica y Redes de Información se está incluyendo una nueva materia sobre nuevas tecnologías de redes en donde se propone la temática de SDN y MPTCP, precisamente por recomendación de los autores de la propuesta de este proyecto interno, por lo que se brindará soporte directo y para la cual se podrá demostrar cómo se generan módulos SDN y cómo se los prueba sobre prototipos reales y no solo a nivel de simulación; estos prototipos serán también para la temática de MPTCP.

En el aspecto científico, permitirá en el futuro continuar de forma efectiva el fortalecimiento de la línea de investigación en la que se enmarca la temática de SDN; así, se tiene planificado el presentar un nuevo proyecto sobre SDN para obtener el financiamiento externo de CEDIA.

En el dominio tecnológico, dado que al momento, las investigaciones en las temáticas de SDN y MPTCP son reducidas debido a que son tecnologías recientes y aún no están desplegadas a gran escala en el país, por lo que podrá poner a disposición de quienes requieran todo el conocimiento de cómo estructurar una SDN y cómo explotar MPTCP.

Se tendrá entonces una masa crítica mejor formada en la temática de SDN y MPTCP que puede ser la base de futuros proyectos.

Los párrafos anteriores se enfocan a resaltar la importancia que este proyecto tiene al plantear el uso de las tecnologías SDN y MPTCP.

### 5.3 Productos esperados

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| a. Publicaciones científicas (obligatorio);   | X                        |
| b. Disertación a la Comunidad Politécnica;  | X                        |
| c. Proyecto de Titulación;  | X                        |
| d. Tesis de Grado (maestría o doctorado);   | <input type="checkbox"/> |
| e. Aplicación tecnológica construida o implementada;                                    | <input type="checkbox"/> |
| f. Patente presentada;  | <input type="checkbox"/> |
| g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación. | <input type="checkbox"/> |

### 5.4 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- a. Se dispondrá de un prototipo de red operacional para evaluar implementaciones de MPTCP.
- b. Un módulo implementado para un controlador SDN para el análisis de subflujos MPTCP.
- c. Un módulo implementado para un controlador SDN para para mejorar el problema de MPTCP: *shared bottleneck*.
- d. Documentación sobre el proceso seguido para implementar los módulos para un controlador SDN.
- e. Documento como parte del proyecto de titulación de un estudiante de pregrado.



- f. Portal web para difusión de lo realizado en el proyecto.
- g. Formación de masa crítica que permita continuar actividades de investigación y difusión en estas temáticas nuevas y avanzadas relacionadas a redes de datos, tanto en lo relacionado a arquitecturas alternativas como SDN y de las extensiones de uno de los protocolos más utilizados en el Internet. Las dos temáticas son temas de actualidad a nivel internacional y en particular en el Ecuador, y que actualmente están restringidas a unas pocas instituciones, especialmente universidades.

**Efectos**

- a. Desarrollo de una cultura de uso de las herramientas de desarrollo de aplicaciones para SDN.
- b. Formación adecuada para buscar fondos para proyectos de mayor envergadura en la temática de SDN y MPTCP.

<b>6</b>	<p><b>Descripción, metodología y cronograma de trabajo</b></p> <p><b>6.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)</b></p> <p><b>(1) Justificación de la Investigación</b></p> <p>El rápido desarrollo de las tecnologías inalámbricas proveen las facilidades para que se desarrollen aplicaciones con altas demandas de tasas de transmisión que se ejecuten en dispositivos móviles como el <i>streaming</i> de video y video conferencia.</p> <p>El empleo de tecnologías como MIMO y OFDM, han permitido alcanzar altas tasas de transmisión; así con LTE se puede alcanzar 300 Mbps en el enlace de bajada y 75 Mbps en el de subida [6]. Con 802.11n se pueden alcanzar 600Mbps utilizando cuatro <i>streams</i> espaciales y con canales de 40MHz [6]. El tráfico para video excedió el 50% del tráfico total de datos móviles a fines del 2012 y creció al 55% a fines del 2014. Aproximadamente, cerca del 75% del tráfico de datos móviles a nivel mundial será video en el 2019 [3]. A medida que los operadores empiezan a tener problemas en transportar todo este nuevo tráfico en las redes 3G y 4G, el enviar parte de la carga por WiFi es una alternativa que se está analizando [4]. En resumen, un dispositivo móvil multi-radio puede conectarse a más de una estación base en redes inalámbricas diferentes usando múltiples interfaces. Con este mecanismo, las tasas de transmisión de múltiples redes pueden agregarse para mejorar la QoS para un usuario móvil [8].</p> <p>a) <b>TCP (Transmission Control Protocol)</b></p> <p>TCP opera a nivel de capa transporte y provee un servicio confiable tipo flujo de bytes (<i>bytestream</i>) sobre IP. Una de las primeras decisiones de diseño de TCP que se tomó continúa siendo una limitante según el criterio de muchos. TCP e IP son protocolos separados pero esta separación no es completa. Para diferenciar los flujos (<i>streams</i>) individuales de datos entre los paquetes entrantes, un host receptor demultiplexa los paquetes basado en los que se denomina una tupla de 5 elementos que incluye direcciones IP, números de puertos e identificadores de protocolos. Esto implica que la conexión TCP está ligada a las direcciones IP utilizadas en el cliente y en el servidor al momento de establecer la conexión.</p> <p>A pesar de la creciente importancia de los nodos móviles como <i>smartphones</i> y <i>tablets</i>, las conexiones TCP no pueden moverse de una dirección IP a otra. Cuando una laptop conmuta de Ethernet a Wi-Fi, obtiene otra dirección IP. Todas las conexiones TCP deben suspenderse y nuevas deben establecerse.</p> <p>b) <b>MPTCP (MultiPath TCP)</b></p> <p>MPTCP es una alternativa para utilizar de forma simultánea varias direcciones IP y/o interfaces de red, lo que se consigue con una modificación o extensión de TCP, especificada en el RFC6824 de la IETF (<i>Internet Engineering Task Force</i>), en estado experimental desde enero de 2013 [1].</p> <p>MPTCP presenta a las aplicaciones la interfaz de programación común y corriente de un socket TCP cuando en realidad los datos están siendo distribuidos entre varios subflujos (<i>subflows</i>); es decir, los hosts pueden usar de forma eficiente múltiples interfaces para una única conexión TCP. MPTCP es transparente para las capas más altas y más bajas. Con esto se consigue una mejor utilización de los recursos, mejores tasas efectivas (<i>throughput</i>) y una reacción más suave frente a fallas [2].</p> <p>Los subflujos (<i>subflows</i>) pueden ser añadidos o removidos de forma dinámica de una conexión MPTCP a lo largo de su tiempo de vida, sin afectar el <i>stream</i> de bytes transportados para la aplicación.</p> <p>Es posible entonces que MPTCP emplee, por ejemplo, Ethernet/WiFi/3G en una laptop. Si ocurren fallas en las interfaces Ethernet y 3G o se sale del alcance, gracias a MPTCP, el tráfico empleará exclusivamente la interfaz WiFi, sin interrupción de la transmisión. En un escenario común, sin MPTCP, la sesión de trabajo simplemente se hubiese detenido frente a la falla y el usuario hubiese tenido que reiniciar la sesión de trabajo.</p>
----------	--



En otro escenario, si un *smartphone* se mueve de una red WiFi a otra, recibirá una nueva dirección IP. En ese momento, se abrirá un nuevo subflujo (*subflow*) utilizando esta nueva dirección asignada e indicar al servidor que su dirección anterior ya no será utilizada. El servidor enviará los datos a esta nueva dirección. Estas opciones permiten que el *smartphones* se mueva por diferentes conexiones inalámbricas sin romper las conexiones MPTCP [7].

MPTCP resultó ser más complicado de lo esperado por varias razones, entre ellas la presencia en las redes de hoy en día de las denominadas *middleboxes* que no son sino dispositivos de red que inspeccionan, filtran, manipulan o transforman el tráfico para fines diversos más allá del simple reenvío de paquetes. Son ejemplos de *middleboxes* traductores NAT, *gateways* de aplicación específica, detección de intrusos y sistemas de prevención, y todo tipo de *firewalls*. A diferencia de los routers IP, estos dispositivos conocen de las conexiones TCP y diseñar MPTCP para que pueda atravesar todas estas *middleboxes* se constituyó en un verdadero reto.

Existen numerosos problemas que MPTCP debe resolver y para exponer uno como ejemplo, se presenta un posible escenario y se explica las complicaciones que surgen. Asumiendo el caso de un *smartphone* con dos interfaces, WiFi y 3G, con dos subflujos establecidos. El *smartphone* puede enviar y recibir segmentos TCP sobre ambos subflujos.

Debido a que los dos caminos a menudo tendrán diferentes características de retardo, los segmentos de datos enviados en los dos subflujos no serán recibidos en orden. El TCP regular emplea un número de secuencia en el encabezado de cada paquete TCP para ordenar adecuadamente los datos recibidos. Una solución simple sería que MPTCP reutilice este número de secuencia tal como lo hace la versión original. Desafortunadamente, esta simple solución crearía problemas con algunos *middleboxes* existentes, tales como los *firewalls*.

En cada camino, un *middlebox* solo vería la mitad de los paquetes, y observaría espacios o saltos en los números de secuencia. Se conoce que algunos *middleboxes* reaccionan en formas extrañas cuando encuentran esta falta de continuidad en los números de secuencia, algunos descartan los segmentos con secuencias fuera de orden mientras que otros intentan actualizar los ACK intentando “recuperarse” de algunos de estos huecos.

Con estos *middleboxes* en el camino, MPTCP no puede enviar de forma segura segmentos TCP con números de secuencia faltantes. Por otro lado, MPTCP tampoco puede enviar todos los segmentos de datos por todos los subflujos. Para abordar este problema MPTCP utiliza su propio espacio de numeración de secuencia.

Cada segmento enviado por MPTCP contiene dos números de secuencia: el número de secuencia del subflujo dentro del encabezado de TCP regular, y un DSN (*Data Sequence Number*) adicional llevado dentro del campo de “opciones” de TCP.

Esta solución asegura que los segmentos enviados en cualquiera de los subflujos tengan números de secuencia consecutivos y no molesten a los *middleboxes*. MPTCP puede enviar algunos números de secuencias de los datos en un camino y los restantes en el otro camino; las *middleboxes* antiguas ignorarán la opción con el DSN, pero estos números serán utilizados por el receptor MPTCP para reordenar el *stream* de bytes antes de entregar los datos a la aplicación receptora.

### c) SDN (*Software Defined Networks*)

Las arquitecturas de red tradicionales presentan limitaciones frente a nuevos y demandantes requerimientos: tienen limitada capacidad de adaptación a nuevas tecnologías, poca escalabilidad e ineficiente uso de políticas de control de acceso, por mencionar algunos problemas. Esto ha impulsado la búsqueda de nuevas arquitecturas alternativas a las redes tradicionales. La *Open Networking Foundation* (ONF) plantea las Redes Definidas por Software (SDN) para satisfacer los nuevos requerimientos [9].

Las SDN constituyen una arquitectura de red cuyo objetivo fundamental es desacoplar físicamente el plano de control (inteligencia) del plano de datos, derivando el control a una computadora (controlador) y esperando contar con dispositivos muy rápidos en las tareas de conmutación aunque con limitada inteligencia. Esto facilita un mayor control y nivel de gestión sobre los equipos de conectividad, flexibilizando el cambio de funcionalidad de la red en general y con un control centralizado dado que el controlador tiene asociados muchos dispositivos.

El control sobre la red se lo realiza a través de la instalación, en los dispositivos de red (hardware), de reglas que definen patrones de comportamiento del tráfico mientras éste transita por la red. Dichas reglas se programan en el controlador empleando lenguajes de alto nivel. Después de que el controlador procesa el tráfico, enviará a los switches las reglas que deberán aplicar sobre el tráfico que circula por ellos. La gestión de la red se encuentra altamente centralizada sobre este servidor controlador que maneja toda la inteligencia de la red.

El servidor controlador es el encargado del manejo del plano de control y, como una alternativa, se



comunica con los dispositivos a través del protocolo OpenFlow.

## (2) Procedimiento

Cuando un host solo dispone de una interfaz de red, los subflujos creados por MPTCP se envían por el mismo camino provocando una sobre-utilización del ancho de banda de estos enlaces, lo que se conoce con el nombre de *shared bottlenecks*. Se debe buscar formas efectivas de enviar subflujos de una misma conexión MPTCP pero utilizando múltiples caminos.

Una forma de no modificar la implementación de MPTCP que se está ejecutando en los hosts, sin importar cual implementación se está utilizando, ni el sistema operativo, ni el tipo de dispositivo es emplear SDN. Será el controlador de una SDN el que controle la funcionalidad de los dispositivos de red con soporte Openflow; al derivar la inteligencia del dispositivo al controlador, éste podrá analizar y modificar el tráfico asociado a MPTCP.

Para cumplir lo planteado, se identifican tres fases en el proyecto.

### Fase I: Análisis de MPTCP

Se deberán analizar los 5 RFC (*Request for Comments*) relacionados a diferentes aspectos de MPTCP: Arquitectura; Algoritmo de Control de Congestión; Guía de implementación; APIs para la capa aplicación; y, Consideraciones de seguridad.

Se revisarán y evaluarán las implementaciones de MPTCP utilizando dispositivos con varias interfaces estableciendo algunos prototipos básicos de red, de tal manera de entender los detalles y retos asociados MPTCP. Las implementaciones que podrían utilizarse son;

- Linux kernel (implementación referencia) de la Université Catholique de Louvain [11]
- Android de la Université Catholique de Louvain
- FreeBSD (IPv4 only) de la Swinburne University of Technology
- f5 Networks BIG-IP LTM
- Citrix Netscaler
- Apple iOS 7, lanzada en Septiembre de 2013

Si los clientes y el servidor tienen una conexión TCP ordinaria, se puede emplear un *router* con soporte MPTCP. En este escenario se explorarán dos alternativas:

- Utilizar un proxy en el router.
- Utilizar una VPN hacia un punto extremo (endpoint) presentando una red más rápida. De esta manera se puede utilizar todos los enlaces de subida (uplinks) para todo el tráfico, incluso tráfico a un servidor que no dispone de MPTCP.

Si bien esta alternativa requiere cambios en los dispositivos de red, es importante explorar las implicaciones y problemas de esta alternativa. Se empleará alguna versión de firmware que tenga integrada la opción MPTCP y se la reemplazará en dispositivos con la funcionalidad de routers. Una alternativa a explorar es la de OpenWRT [<http://wiki.openwrt.org>] que soporta varias interfaces y las dos alternativas mencionadas (proxy y el uso de VPN). En este escenario, en el lado del servidor se deberá levantar el otro extremo de la VPN (con OpenVPN, por ejemplo) y el uso de NAT. OpenWRT utiliza la misma implementación de la Université Catholique de Louvain. Finalmente, se analizará una implementación de MPTCP en el simulador NS3, con lo cual se completará la etapa de familiarización con los detalles de MPTCP.

### Fase II: Análisis de las SDN e implementación de un analizador de MPTCP

Se implementará un módulo para el controlador SDN para analizar los subflujos asociados a cada conexión MPTCP, considerando como primer dispositivo por el que atraviese el tráfico un switch con soporte Openflow. Esto permitirá derivar todo paquete de aquellos flujos y subflujos asociados a MPTCP hacia el controlador; el módulo a desarrollarse se escribirá para realizar esta derivación para todos los paquetes de la conexión MPTCP para su análisis y se podría realizar pruebas con varias de las implementaciones de MPTCP que se usen en los hosts.

Información a obtenerse sería tentativamente, las rutas que se han establecido hacia un servidor destino, los detalles del control de número de secuencia y la información asociada al control de congestión.

Para esto, primero se determinará la mejor plataforma de controlador para la implementación de los módulos a desarrollarse entre las alternativas en las que el grupo de trabajo de SDN del DETRI tiene experiencia, por mencionar: Opendaylight, RYU, Trema, Beacon, etc.

Por cada interfaz física de los hosts se tendrá una conexión a un puerto de un switch Openflow el cual estará interconectado al servidor-controlador lo que permitirá el análisis del tráfico en el módulo desarrollado. Para la evaluación del módulo se empleará Mininet para tener redes virtualizadas, y prototipos basados en switches Openflow virtualizados, switches habilitados para Openflow con cambio de firmware y switches de mayor prestaciones con soporte nativo de Openflow.



En el escenario de pruebas, se emplearán hosts con al menos dos interfaces físicas, cada una asociada a un puerto diferente de un switch SDN, o a switches SDN distintos; luego de los switches SDN se buscarán caminos al servidor por WiFi, redes cableadas y proveedores celulares. Además, se emplearán hosts de distinta naturaleza y recursos y con distintas implementaciones de MPTCP.

### Fase III: Implementación de las modificaciones a MPTCP

En base a las dos fases anteriores se tendrán los elementos necesarios para implementar el segundo módulo controlador en base a las modificaciones propuestas en [10] por los investigadores de la Universidad Federal de San Carlos y mejorar el problema del *shared bottleneck*.

Previo a la implementación de la solución planteada en [10], se debe entender el problema y reproducirlo para luego proceder a la implementación de la solución. No se empleará el controlador POX por cuanto éste es el utilizado en [10].

### Bibliografía

- [1] A. Ford, C. Raiciu, M. Handley, S. Barre, J. Iyengar. 2011. Architectural guidelines for multipath TCP development. RFC6182. Recuperado de <http://tools.ietf.org/html/rfc6182.html> (Julio 2015).
- [2] Cisco and affiliates. 2015. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2014–2019.
- [3] C. Paasch, S. Barre, et al. Multipath TCP in the Linux Kernel. Recuperado de <http://www.multipath-tcp.org> (Julio 2015).
- [4] C. Paasch, O. Bonaventure. 2014. Multipath TCP: Decoupled from IP, TCP is at last able to support multihomed hosts. ACM Queue, Volume 12, issue 2.
- [5] C. Paasch, G. Detaly, F. Duchenev, C. Raiciuz, O. Bonaventure. 2012. Exploring Mobile/WiFi Handover with Multipath TCP. CellNet'12, Helsinki, Finland.
- [6] D. Zhou, W. Song. 2014. Multipath TCP for User Cooperation in Wireless Network. USA. Springer
- [7] IETF. 2013. RFC 6824. Recuperado de <http://tools.ietf.org/html/rfc6824.html> (Julio 2015).
- [8] J. Chico, D. Mejía, I. Bernal. 2014. Implementación de un prototipo de una Red Definida por Software (SDN) empleando *conmutadores habilitados*. XXV Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito, Ecuador.
- [9] M. Sandri, A. Silva, L.Rocha, F. Verdi. 2015. On the Benefits of Using Multipath TCP and Openflow in Shared Bottlenecks. IEEE 29th International Conference Advanced Information Networking and Applications (AINA). IEEE,
- [10] O. Bonaventure, M. Handley, C. Raiciu. 2012. An Overview of Multipath TCP. Recuperado de <http://inl.info.ucl.ac.be/publications/overview-multipath-tcp> (Julio 2015).

### 6.2 Cronograma de trabajo anual: (Descripción)

Actividad	Primer Año						TOTAL
	Porcentaje de avance por mes						
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	
Consulta bibliográfica	20	20	20	20	10	10	100
Tratamiento de los RFC de MPTCP y sobre múltiples aspectos teóricos necesarios.	100						100
Configuración de hosts con implementación de MPTCP y prototipos de redes para pruebas y análisis.	50	50					100
Configuración de routers con posible cambio de firmware con OpenWRT con implementación de MPTCP y prototipos de redes para pruebas y análisis.	50	50					100
Simulación de MPTCP con NS3		50					100
Diseño, implementación y pruebas del módulo Analizador de MPTCP			50	50			100



con el controlador designado.							
Pruebas con distintos tipos de switches; virtuales, habilitados y soporte nativo de Openflow					100		100
Diseño, implementación y pruebas del módulo de modificaciones de MPTCP con el controlador designado					75	25	100
Pruebas con distintos tipos de switches; virtuales, habilitados y soporte nativo de Openflow						100	100
Documentación sobre el proceso seguido para implementar el prototipo y emplearlo para la prueba de aplicaciones.	20	20	20	20	10	10	100
Actualización del Portal web para difusión de información relacionada al proyecto.	20	20	20	20	10	10	100
Realización de artículo científico para su publicación a nivel nacional.				30	30	40	100
Informe semestral de actividades.			50			50	100
<b>TOTAL</b>							

<b>7</b>	<b>Fechas de inicio y fin</b>
	<i>Inicio</i> 4 de octubre de 2015
	<i>Fin</i> 3 de octubre de 2016

<b>8</b>	<b>Tiempo de dedicación de docentes, infraestructura, equipos y fondos adicionales.</b>					
	<b>8.1 Tiempo máximo de dedicación semestral del Director del proyecto, de los docentes participantes y otros colaboradores.</b>					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Proyecto</i></th> <th><i>Director</i></th> <th><i>Colaborador</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>PII</i></td> <td><i>16 HSS</i></td> <td><i>8 HSS</i></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Proyecto</i>	<i>Director</i>	<i>Colaborador</i>	<i>PII</i>	<i>16 HSS</i>
<i>Proyecto</i>	<i>Director</i>	<i>Colaborador</i>				
<i>PII</i>	<i>16 HSS</i>	<i>8 HSS</i>				





## 8.2 Infraestructura y equipos

### Para la Fase I

Se requerirán de al menos 2 PC para los roles de cliente y servidor y que se puedan modificar para soportar algunas de las implementaciones de MPTCP. Para algunas pruebas se requiere que las PC tengan dos interfaces disponibles. Para la estructuración de los escenarios de prueba se requieren 2 switches normales y 2 routers.

También se requiere 2 switches o routers que permitan cambios del firmware y soporten OpenWRT con la implementación de MPTCP.

Para la simulación con NS3 se requiere una tercera PC con las prestaciones adecuadas.

### Para la Fase II y III

Se requerirá a más de las PC para los hosts, de una máquina para el servidor controlador de la SDN que podría ser la empleada para la simulación NS3.

Se requiere una PC adicional para disponer de switches virtuales y correr Mininet.

Se debe disponer de 2 switches habilitados de bajo costo que permitan cambiar el firmware para soporte Openflow y 2 switches con soporte nativo de Openflow que son de mayor costo.

Debe considerarse también que se requiere otra máquina para albergar el servidor web para la publicación del sitio web del proyecto.

Si bien se requieren al menos cinco computadores, switches y routers, no se solicitan fondos para la adquisición de equipos y en general para la ejecución del proyecto. Gracias a la participación en proyectos anteriores se tienen a disposición del proyecto, varias PC con recursos que pueden cumplir las tareas indicadas y los routers y switches normales y con soporte Openflow y switches de bajo costo compatibles con OpenWRT.

Todos estos equipos están formando parte del Laboratorio que los proponentes del proyecto están creando en el DETRI bajo la denominación "Laboratorio de Investigación y Experimentación de Redes y Sistemas Distribuidos".

## 8.3 Breve justificación del equipo requerido

No se solicitan fondos para la adquisición de equipos para la ejecución del proyecto.

## 8.4 Fondos Adicionales


- No existen fondos de otros organismos

9	Presupuesto estimado para la ejecución del presente proyecto (anual)		
	<u>Primer Año</u>		
	Lista de ítems	Cantidad solicitada (US \$)	Porcentaje (%)
	1. Contratación Servicios Personales por Contrato <i>Ayudantes de Investigación</i>	0.00	
	<b>Subtotal</b>	0.00	
	2. Maquinaria y Equipos	0.00	
	<b>Subtotal</b>	0.00	
	3. Reactivos y materiales de laboratorio	0.00	
	<b>Subtotal</b>	0.00	
	4. Literatura especializada	0.00	
	<b>Subtotal</b>	0.00	
	5. Viajes técnicos y de muestreo	0.00	
	<b>Subtotal</b>	0.00	
	6. Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones	0.00	
	<b>Subtotal</b>	<b>0.00</b>	



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>00 + IVA</b>	<b>100</b>
--	--------------------------	-----------------	------------

<b>10</b>	<b>Lugar y Fecha / Firma del Director del Proyecto</b>	
	Quito, 10 de Julio del 2015 Nombre: Iván Bernal Carrillo CC: 1708746803	 <b>Firma del Director</b>

<b>DECLARACION DEL JEFE DE DEPARTAMENTO</b>	
<p>Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo del Departamento/Instituto ..... <b>al que pertenece el Director del Proyecto</b>, en Sesión del ..... mediante Resolución No. .... y las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del aplicante de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta aplicación.</p>	
_____ JEFE DEL DEPARTAMENTO/INSTITUTO Nombre: CC:	_____ Lugar y fecha